

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

DEPARTAMENTO DE OFTALMOLOGÍA Y OTORRINOLARINGOLOGÍA



TESIS DOCTORAL

Morfología y morfometría del ángulo camerular y de la malla trabecular.

Estudio mediante tomografía de coherencia óptica de segmento anterior Fourier Domain

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

José Fernández-Vigo Escribano

Directores

José Fernández-Vigo López
Julián García Feijóo
José María Martínez de la Casa

Madrid, 2014



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE OFTALMOLOGÍA Y
OTORRINOLARINGOLOGÍA

MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA
DEL ÁNGULO CAMERULAR Y DE
LA MALLA TRABECULAR.
ESTUDIO MEDIANTE TOMOGRAFÍA DE
COHERENCIA ÓPTICA DE SEGMENTO
ANTERIOR FOURIER DOMAIN.

TESIS DOCTORAL
JOSÉ FERNÁNDEZ-VIGO ESCRIBANO
Madrid - 2014

**MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DEL
ÁNGULO CAMERULAR Y DE LA MALLA
TRABECULAR. ESTUDIO MEDIANTE
TOMOGRFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA DE
SEGMENTO ANTERIOR FOURIER DOMAIN.**



Universidad Complutense de Madrid.

Facultad de Medicina.

Departamento de Oftalmología.

José Fernández- Vigo Escribano

Madrid - 2014.

**MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DEL ÁNGULO
CAMERULAR Y DE LA MALLA TRABECULAR.
ESTUDIO MEDIANTE TOMOGRAFÍA DE
COHERENCIA ÓPTICA DE SEGMENTO ANTERIOR
FOURIER DOMAIN.**

José Fernández-Vigo Escribano

Tesis doctoral

Universidad Complutense de Madrid

Directores

Vº Bº

José Fernández-Vigo López

Julián García Feijóo

José María Martínez de la Casa

Catedrático Oftalmología UEX

Catedrático Oftalmología UCM

Profesor titular Oftalmología UCM

José Fernández-Vigo López, Catedrático de Oftalmología del Departamento de Especialidades médico-quirúrgicas de la Universidad de Extremadura, como **director**,

Julián García Feijóo, Catedrático de Oftalmología del Departamento de Oftalmología y Otorrinolaringología de la Universidad Complutense de Madrid, como **director**,

y

José María Martínez de la Casa, Profesor Titular de Oftalmología del Departamento de Oftalmología y Otorrinolaringología de la Universidad Complutense de Madrid, como **director**,

CERTIFICAN

Que la presente memoria de Tesis titulada “Morfología y morfometría del ángulo camerular y de la malla trabecular. Estudio mediante tomografía de coherencia óptica de segmento anterior Fourier Domain” ha sido realizada bajo nuestra dirección por D. José Fernández-Vigo Escribano desde el año 2011 en el Departamento de Oftalmología del Hospital Clínico San Carlos de Madrid, para optar al grado de Doctor por la Universidad Complutense de Madrid. Hacemos constar que la citada Tesis reúne todos los requisitos necesarios para su defensa y aprobación.

Y, para que conste a los efectos oportunos, firmamos el presente certificado en Madrid, 2014.

José Fernández-Vigo López
Catedrático Oftalmología UEX

Julián García Feijóo
Catedrático Oftalmología UCM

José María Martínez de la Casa
Profesor titular Oftalmología UCM

**Hospital Clínico San Carlos
Universidad Complutense, Madrid**

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Al profesor Fernández-Vigo, maestro y padre. Maestro porque me ha enseñado a buscar la excelencia, a esforzarme, y a huir para siempre de la zona de confort. Y padre, por haber estado a mi lado y por exigirme para ser mejor persona. Gracias Papá.

Al profesor García Feijóo por su interés constante, sus consejos, ayuda y sabiduría para la realización de ésta tesis.

Al profesor Martínez de la Casa por sus conocimientos, su disposición y su gran amabilidad.

A Cristina Fernández Pérez, por su paciencia y su ayuda en el análisis estadístico de esta Tesis.

A Ana por su respaldo y afecto, su dedicación a la familia y ser un ejemplo de profesionalidad.

A mi abuelo José Fernández Vigo, por su dedicación en mi formación. Es mi gran ejemplo en ésta vida y siempre lo será.

A mi hermana Cristina, mejor hermana que oftamóloga si cabe, y a mis hermanos Pablo y Nacho. Por la suerte que tengo de tenerlos, y porque me tendrán en esta vida siempre y para todo lo que necesiten. Os quiero.

A mi abuela, primos y tíos porque no se puede tener una familia mejor.

A mi “hermano” Chete, por estar siempre y sin excepción, por su bondad y generosidad infinitas.

A mis grandes amigos: mi primo Ignacio, Álvaro e Iñigo, porque me siento muy afortunado de que forméis parte de mi vida.

A Lucía, por su cariño, su apoyo, y porque eres muy especial en mi vida.

A mis 5 coRs, Johnny, Paula A, Paula B, Clara y especialmente a Javi, por su ayuda en este proyecto y por la gran amistad que nos une. Es una suerte y estoy orgulloso de tenerlos como compañeros.

Al gran servicio de oftalmología al que pertenezco, a mis residentes mayores y pequeños, y a mis adjuntos, por tantas horas compartidas y porque siento que cada día aprendo algo de todos vosotros. Gracias.

Al personal de la clínica, por vuestra ayuda desinteresada, especialmente a los optometristas Miguel y Virginia.

ÍNDICE

ÍNDICE

ABSTRACT (en inglés)	1
RESUMEN (extendido)	3
LISTA DE ABREVIATURAS	11
DIVULGACIÓN CIENTÍFICA	13
IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DE NUESTRO TRABAJO	15
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	25
INTRODUCCIÓN	31
1. ANATOMÍA DEL ÁNGULO IRIDOCORNEAL	33
1.1 CONCEPTO DE ÁNGULO	33
1.2 HISTOLOGÍA DEL ÁNGULO	35
1.3 ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL HUMOR ACUOSO	39
2. CLASIFICACIÓN DEL ÁNGULO	47
3. IMPORTANCIA DEL ÁNGULO EN LA CLASIFICACIÓN DEL GLAUCOMA	51
4. MÉTODOS DIAGNÓSTICOS DEL ÁNGULO	56
4.1 GONIOSCOPIA	56
4.2 BIOMICROSCOPIA ULTRASÓNICA (BMU)	64
4.3 SPAC	69
4.4 PENTACAM	70
4.5 TOMOGRAFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA (OCT)	71
4.5.1 PRINCIPIOS DE LA OCT-SA	71
4.5.2 DISPOSITIVOS DE OCT-SA	76
4.5.3 LA OCT-SA PARA LA EXPLORACIÓN DEL ÁNGULO CAMERULAR. EVOLUCIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES DISPOSITIVOS	84
4.5.4 MEDIDAS DE LA OCT DE ÁNGULO CAMERULAR	91
4.5.5 CORRELACIÓN TOMOGRÁFICA-HISTOLÓGICA	93
4.5.6 CORRELACIÓN CON OTRAS TÉCNICAS	94

MATERIAL Y MÉTODOS	97
1. DISEÑO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LA MUESTRA	99
2. PROTOCOLO EXPLORATORIO	100
3. METODOLOGÍA DE LAS PRUEBAS COMPLEMENTARIAS	101
3.1 PENTACAM	101
3.2 IOL MASTER	103
3.3 OCT-SA FOURIER DOMAIN RTVue	105
3.3.1 MATERIAL: CARACTERÍSTICAS DEL DISPOSITIVO	105
3.3.2 PROTOCOLO EXPLORATORIO GENERAL MEDIANTE OCT	110
3.3.2.1 CAPTURA DE IMÁGENES	110
3.3.2.2 PROTOCOLOS DE ESTUDIO EMPLEADOS MEDIANTE OCT	111
a) Protocolo de estudio para la identificación de estructuras mediante OCT	112
b) Protocolo para el estudio de la reproducibilidad de las medidas mediante OCT	122
c) Protocolo para el estudio de la abertura angular y de la malla trabecular	124
4. CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS	132
5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	133
a. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	133
b. ESTADÍSTICA ANALÍTICA	133
RESULTADOS	135
CAPÍTULO 1: ESTUDIO DE REPRODUCIBILIDAD	137
1.1 INTRAOBSERVADOR	138
1.2 INTEROBSERVADOR	139
CAPÍTULO 2: MORFOLOGÍA DEL ÁNGULO CAMERULAR MEDIANTE OCT	145
2.1 IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS DEL ÁNGULO MEDIANTE OCT	145
2.2 CONCORDANCIA EN LA IDENTIFICACIÓN TOTAL DE ESTRUCTURAS	145
2.3 ESTUDIO DE CORRELACIÓN ENTRE LAS MEDIDAS EN LOS SECTORES TEMPORAL Y NASAL	148
CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN GENERAL A ESTUDIO	151
3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN	151

3.2 VALORES OBTENIDOS MEDIANTE PENTACAM	153
3.3 VALORES OBTENIDOS MEDIANTE IOL MASTER	154
3.4 VALORES OBTENIDOS MEDIANTE OCT-SA RTVue	155
3.5 DESCRIPCIÓN DE OTROS PARÁMETROS ESTUDIADOS	158
CAPÍTULO 4: LA ABERTURA ANGULAR	159
4.1 LA ABERTURA ANGULAR MEDIDA CON OCT	159
4.1.1 La abertura angular en la población	159
4.1.2 La abertura angular según lateralidad, OD vs OI	161
4.1.3 La abertura angular según el sexo	163
4.1.4 La abertura angular según la edad	164
4.1.5 La abertura angular según el defecto refractivo esférico	168
4.1.6 Estudio general de correlación, ANOVA y modelos de regresión	169
4.2 LA ABERTURA ANGULAR MEDIDA CON PENTACAM	181
4.2.1 La abertura angular en la población	181
4.2.2 La abertura angular según lateralidad, OD vs OI	183
4.2.3 La abertura angular según el sexo	183
4.2.4 La abertura angular según la edad	183
4.2.5 La abertura angular según el defecto refractivo esférico	183
4.2.6 Estudio general de correlación, y modelos de regresión	183
4.3 ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ABERTURA ANGULAR OCT VS PENTACAM	186
4.4 OTROS PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA ABERTURA ANGULAR	188
4.4.1 Estudio de correlaciones	188
4.4.2 Estudio comparativo entre el PENTACAM vs IOL MASTER	189
4.4.2.1 Concordancia de la medida de la profundidad de la cámara anterior	189
4.4.2.2 Concordancia de la medida del diámetro pupilar	190
CAPÍTULO 5: LA MALLA TRABECULAR	193
5.1 ESTUDIO DESCRIPTIVO DE LA MALLA TRABECULAR	193
5.1.1 Longitud de la malla trabecular	193
5.1.2 Grosor de la malla trabecular	195
5.1.3 Área de la malla trabecular	197

5.2 ESTUDIO DE RELACIÓN DE LA MALLA TRABECULAR CON EL SEXO	199
5.3 ESTUDIO GENERAL DE CORRELACIONES	200
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL ÁNGULO.	
PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA ABERTURA ANGULAR	203
6.1 PARÁMETROS ESTUDIADOS	203
6.1.1 Distancia de abertura angular (AOD)	203
6.1.2 Área iridotrabecular (TISA)	203
6.1.3 Distancia Iris-Malla (DIM)	204
6.1.4 Área pretrabecular	206
6.1.5 Longitud de contacto iridotrabecular	206
6.2 ESTUDIO DE CORRELACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANGULARES	208
6.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS ANGULARES:	
PARÁMETROS ESTÁNDAR VS PROPUESTOS	210
DISCUSIÓN	213
1. DISCUSIÓN RESPECTO A LA POBLACIÓN A ESTUDIO	215
2. DISCUSIÓN RESPECTO A LA REPRODUCIBILIDAD	218
3. DISCUSIÓN RESPECTO A LA IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS	220
4. DISCUSIÓN RESPECTO A LA ABERTURA ANGULAR	224
5. DISCUSIÓN RESPECTO A LA MALLA TRABECULAR	240
6. DISCUSIÓN RESPECTO A LOS PARÁMETROS ANGULARES	246
LIMITACIONES DEL ESTUDIO	257
REPERCUSIONES Y APORTACIONES	259
ORIGINALES CONCLUSIONES	261
BIBLIOGRAFÍA	265
ANEXOS	281
Anexo 1: Tablas de correlación para el total de ojos, y estratificadas por OD y OI	281
Anexo 2: Consentimiento informado	291

Morphology and morphometry of the anterior chamber angle and the trabecular meshwork. Study using Fourier Domain anterior segment optical coherence tomography.

Introduction: The iridocorneal angle was studied classically by gonioscopy. With Fourier Domain anterior segment optical coherence tomography (FD AS-OCT), we explore the angle using a new approach, identifying the different structures and making an accurate measurement of the same and the anterior chamber angle.

Purpose: To analyze the reproducibility of the measurements, to identify the structures by quantifying their frequency, to measure the anterior chamber angle width and the size of the trabecular meshwork (TM) with FD AS-OCT and analyze its relationship with the morphometric variables of the eye in a normal population.

Method: Prospective study of 1.006 consecutive healthy patients (2.012 eyes). We examined the patients with Pentacam®, IOL Master®, and RTVue® (FD AS-OCT). Parameters evaluated: age, sex, IOP, refractive error, axial length, pupil diameter and pachymetry. Anterior chamber (AC) parameters examined were: depth, volume and diameter. Angle parameters: nasal and temporal width. Length, thickness and area of the trabecular meshwork (TM).

Results: Excellent reproducibility was observed. The angle width could be measured in 98.3% of eyes, average 35.80 ± 12.7 degrees. The TM could be measured in 91% of eyes and the mean area of TM was $0.067 \pm 0.019 \text{ mm}^2$ with an average length of 536 ± 130 microns. We found a correlation between the angle and depth of the AC ($r=0.76$), with the axial length ($r=0.68$), with the spherical refractive error ($r=-0.68$), and with age ($r=-0.60$). There was no significant correlation between the TM size and any of the variables studied ($r<0.13$). Cited correlations were statistically significant ($p<0.05\%$).

Conclusions: The FD OCT-SA is an effective and reproducible technique to study and measure the iridocorneal angle and trabecular meshwork.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN.

El ángulo iridocorneal es una estructura fundamental y muy compleja de la cámara anterior del globo ocular. Éste ha sido profunda y extensamente estudiado desde un punto de vista anatómico e histológico. Desde un punto de vista clínico, la exploración clásica ha sido la gonioscopia que presenta ciertos inconvenientes como es la subjetividad, que se necesita un explorador experto y además requiere contacto y es incómoda para el paciente.

Hasta ahora la técnica de imagen de referencia para la valoración del ángulo camerular ha sido la biomicroscopía ultrasónica (BMU) que es una técnica que proporciona una información útil sobre la configuración del ángulo de la cámara anterior y permite capturar imágenes detalladas del cuerpo ciliar y de la cámara posterior. Pese a esto presenta ciertas desventajas ya que es una técnica invasiva que debido a su elevado coste, la incomodidad del paciente y la necesidad de un examinador experimentado, no es usada en la práctica clínica diaria. El Pentacam® es un instrumento de medida basado en el principio de Scheimpflug, que también permite obtener imágenes del segmento anterior y del ángulo camerular. Sin embargo ambas ofrecen una resolución muy inferior a la tomografía de coherencia óptica (OCT).

Actualmente la OCT nos permite realizar una descripción absolutamente novedosa del ángulo. Los primeros modelos de OCT de dominio temporal permitían la medición de la abertura angular pero ofrecían una imagen pobre en detalles. Con la aparición de la tomografía de segmento anterior de alta resolución Fourier Domain®, podemos conocer el ángulo mediante un nuevo enfoque, identificando las diferentes estructuras y realizando una medición exacta de las mismas y del ángulo camerular.

La OCT-SA FD (de segmento anterior Fourier Domain) por tanto, puede proporcionar una gran información del ángulo camerular y de la malla trabecular y debemos considerarla como un método complementario a la gonioscopia.

OBJETIVOS.

La presente tesis doctoral se diseñó con unos objetivos bien definidos:

- 1.- Analizar la reproducibilidad intra e interobservador de la OCT FD en las mediciones del ángulo y de la malla trabecular.
- 2.- Identificar las estructuras que conforman el ángulo definiendo sus características tomográficas y cuantificando su frecuencia de aparición y grado de visualización.
- 3.- Medir, utilizando el OCT FD, la abertura angular en grados y relacionarla con la edad, sexo, defecto refractivo esférico, presión intraocular y otros parámetros de la cámara anterior y del globo ocular
- 4.- Medir, utilizando la cámara de Scheimpflug o Pentacam®, la abertura angular en grados y relacionarla con la edad, sexo, defecto refractivo esférico, presión intraocular y otros parámetros de la cámara anterior y del globo ocular.
- 5.- Comparar los resultados de abertura angular obtenidos mediante OCT FD con los de la cámara de Scheimpflug.
- 6.- Medir, utilizando el OCT FD, la malla trabecular, concretamente su longitud, grosor y área, y relacionarla con la edad, el sexo y otros parámetros de la cámara anterior y del globo ocular.
- 7.- Medir los parámetros clásicos del ángulo mediante OCT FD: distancia de abertura angular (AOD), área irido-trabecular (TISA), y longitud de contacto iridotrabecular (TICL).
- 8.- Proponer y medir parámetros originales del ángulo mediante OCT FD como son la distancia iris-malla (DIM), el área pretrabecular y la longitud de contacto iridotrabecular porcentual.
- 9.- Comparar los parámetros angulares clásicos con los originales propuestos.
- 10.- Medir además: la cámara anterior en cuanto a su profundidad, volumen y diámetro, el diámetro pupilar, el grosor del iris y la longitud axial del globo ocular, para valorar su relación con respecto a la anatomía angular y a la malla trabecular.

MATERIAL Y MÉTODOS.

Se diseñaron tres protocolos de estudio diferentes, todos ellos prospectivos y unicéntricos. Todos los sujetos eran sanos, sin patología que pudiera alterar la morfología del ángulo ni estar diagnosticados de glaucoma.

En los tres protocolos se valoraron únicamente los sectores temporal y nasal del globo ocular por existir una peor calidad de las imágenes en los cuadrantes verticales.

1. Protocolo de estudio para la identificación de estructuras mediante OCT. Fue el primer estudio realizado y se llevó a cabo en 507 ojos de 267 pacientes. Se valoró el porcentaje de identificación de 8 estructuras: limbo externo, transición corneo-escleral, línea de Schwalbe, malla trabecular y canal de Schlemm, espolón escleral, ápex del ángulo y banda ciliar. Además se definieron las principales características tomográficas de estas estructuras.
2. Protocolo de estudio para valorar la reproducibilidad de las medidas mediante OCT. En este estudio se escogieron al azar 50 pacientes (100 ojos) de la población general compuesta por 2.012 ojos. Se realizó un estudio de reproducibilidad intraobservador e interobservador con un intervalo de 2 semanas, para la medida de la abertura angular, la malla trabecular y los parámetros angulares.
3. Protocolo para el estudio de la abertura angular, de la malla trabecular y de los parámetros angulares. Se realizó con una población de 1.006 pacientes (2.012 ojos). En primer lugar se realizó una exploración oftalmológica general en la que se recogieron la edad, el sexo, la PIO y el defecto refractivo esférico. Se emplearon además como exploraciones complementarias el Pentacam® con el que se midió la profundidad y el volumen de la C.A, la paquimetría, la abertura angular en los sectores nasal y temporal, y el diámetro pupilar. Con el IOL Master® se midió la profundidad de la C.A, la longitud axial, la distancia blanco-blanco o diámetro de la C.A y el diámetro pupilar. Mediante la OCT RTVue® de segmento anterior Fourier Domain se midieron con respecto al ángulo la abertura angular y el grosor del iris, y los parámetros clásicos del ángulo como son el AOD, el TISA y el TICL. Se midieron también unas medidas originales propuestas en este trabajo como son el DIM, el área pretrabecular, y el TICL porcentual. Por último se midió la longitud, el grosor y el área de la malla trabecular.

RESULTADOS.

CAPÍTULO 1: ESTUDIO DE REPRODUCIBILIDAD.

Se observó una reproducibilidad excelente en la medida de la abertura angular y el resto de parámetros angulares estudiados (AOD, TISA, DIM, Área pretrabecular), siendo en todos los casos el CCI mayor de 0,96 en el estudio intraobservador y mayor de 0,94 en el estudio interobservador.

En cuanto a la reproducibilidad de las medidas de la malla trabecular se observó un CCI mayor de 0,93 tanto en el intra como en el interobservador en la medida de la longitud de la MT, de 0,82 y 0,75 en la medida del grosor de la MT y de 0,83 y 0,77 intra e interobservador respectivamente en cuanto al área de la MT.

CAPÍTULO 2: MORFOLOGÍA DEL ÁNGULO CAMERULAR MEDIANTE OCT.

El limbo externo, la transición córneo-escleral y la línea de Schwalbe se identificaron en un 99, 97 y 93% respectivamente de las imágenes, siendo identificado el complejo malla trabecular-canal de Schlemm en el 91% de los casos. El espolón escleral pudo ser identificado en un 85%, el ápex del ángulo en un 35% y la banda ciliar en un 18%.

La concordancia intra e interobservador fue de $k=0,93$ y $k= 0,88$ respectivamente, en la identificación de las estructuras para el total de las imágenes estudiadas.

Se observó una gran correlación entre las medidas realizadas en el sector temporal y nasal de ambos ojos respecto a la abertura angular. Sin embargo, se observó una correlación más débil entre las medidas obtenidas en los sectores nasal y temporal respecto a la malla trabecular tanto en su longitud, grosor y área.

CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN GENERAL A ESTUDIO.

La edad media de la población fue de $49,09 \pm 15,21$ años (rango 18 a 84). En cuanto al sexo el 61,14% eran mujeres.

La presión intraocular media fue de $15,86 \pm 3,47$ mmHg (rango de 6 a 27), y el defecto refractivo esférico medio fue de $-0,42 \pm 3,54$ dioptrías (rango de -16,25 a 10,25).

La OCT-SA RTVue nos ha permitido medir la abertura angular camerular en el 98,3% de los ojos. La malla trabecular se pudo medir en el 91% de los casos. Los parámetros angulares (AOD, TISA, DIM, y área pretrabecular), al ser medidas tan relacionadas entre sí, se pudieron medir en el mismo porcentaje de los casos, siendo éste un 90,8% del total de 2.012 ojos. La principal causa por la que no se midió un determinado parámetro fue debido a una baja calidad de imagen.

CAPÍTULO 4: LA ABERTURA ANGULAR.

La abertura angular media fue de $35,8 \pm 12,7$ grados (rango 1,42 a 78,71). Se observó una alta correlación ($r = 0,886$) entre los OD y los OI, sin embargo en el 54,6% de los pacientes se observó una diferencia mayor o igual del 10% en cuanto a la abertura angular entre su OD y su OI.

Se observó que en las mujeres el ángulo fue 4,49 grados de media menor que en los hombres (IC 95% 3,35 a 5,64 grados $p < 0,0001$).

La abertura angular disminuyó desde los menores de 20 años (media de 50,84 grados) hasta los 56-60 años (30,15 grados de media), momento a partir del cuál se estabilizó. Mediante una regresión se calculó que por cada año de envejecimiento en nuestra población, el ángulo se estrechó en 0,579 grados.

En cuanto al defecto refractivo esférico los resultados mostraron que la abertura angular permaneció estable en el rango de < -9 a -3 dioptrías (media de 46 grados), momento a partir del cuál fue disminuyendo a medida que nos aproximábamos hacia la hipermetropía. Se observó que por cada dioptría que aumentó desde una miopía de -3 dioptrías hacia la emetropía o la hipermetropía, el ángulo se estrechó en 2,678 grados.

Mediante un modelo de regresión lineal multivariable se observó que el sexo, la edad, el defecto refractivo esférico y la profundidad de la CA explicaban un 68,4 % de la variabilidad final de la abertura angular ($r^2 = 0,684$ $p < 0,0001$).

CORRELACIÓN DE LA ABERTURA ANGULAR MEDIDA CON OCT CON:		
Parámetro	Correlación (r)	p
Edad	-0,487	<0,0001
PIO	-0,036	0,119
Profundidad C.A	0,811	<0,0001
Abertura angular Pentacam	0,458	<0,0001
Volumen C.A	0,840	<0,0001
Diámetro pupilar	0,182	<0,0001
Blanco-Blanco	0,239	<0,0001
Longitud axial	0,592	<0,0001
Defecto refractivo esférico	-0,619	<0,0001
Longitud M.T	0,051	0,029
Grosor M.T	0,100	0,0001
Área M.T	0,052	0,028
Grosor del iris	0,139	<0,0001

Tabla 1: Correlación de la abertura angular con el resto de parámetros.

La abertura angular media medida con Pentacam fue de $36,28 \pm 7,37$ grados (rango de 4,1 a 74,2). La medida de la abertura angular con la OCT y el Pentacam® mostró una concordancia baja, ya que este último sobreestima la medida de la abertura angular en ángulos estrechos, e infraestima la medida en ángulos abiertos

Se midió la profundidad de la cámara anterior mediante Pentacam® e IOL Master®, observándose una concordancia excelente entre ambos dispositivos.

CAPÍTULO 5: LA MALLA TRABECULAR.

El área media de la MT fue de $0,067 \pm 0,019 \text{ mm}^2$ (rango de 0,020 a 0,160), con una longitud media de $504,9 \pm 103,2$ micras (rango de 263 a 904), y un grosor medio de $170,4 \pm 29,2$ micras (rango de 18 a 276).

No se observaron diferencias clínicamente relevantes entre los OD y los OI ni con el sexo en cuanto a la longitud, grosor o área de la malla. No se observó correlación de las medidas de la malla trabecular con ninguno de los parámetros generales o morfométricos del globo ocular estudiados.

CORRELACIÓN DE LA MALLA TRABECULAR CON:		
Parámetro	Correlación de la longitud de la MT (r)	Correlación del área de la MT (r)
Abertura angular OCT	0,051 (0,029)	0,072 (0,002)
Profundidad C. A.	0,084 (<0,0001)	0,111 (0,001)
Longitud axial	0,065 (0,006)	0,110 (<0,0001)
Defecto refractivo esférico	-0,086 (<0,0001)	-0,131 (<0,0001)
Edad	-0,056 (0,017)	-0,061 (0,01)
PIO	0,027 (0,251)	-0,005 (0,834)
Paquimetría	-0,022 (0,361)	-0,007 (0,765)
Grosor malla trabecular	0,397 (<0,0001)	0,769 (<0,0001)
Área malla trabecular	0,769 (<0,0001)	1
Longitud malla trabecular	1	0,721 (<0,0001)

Tabla 2: Correlación de la malla trabecular con el resto de parámetros.

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL ÁNGULO. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA ABERTURA ANGULAR.

El AOD medio fue de $539,1 \pm 287,8$ micras (rango 15 a 1770), el TISA medio fue de $0,193 \pm 0,103 \text{ mm}^2$ (rango 0,02 a 0,620), el DIM medio fue de $540,2 \pm 278,6$ micras (rango 19 a 1720) y el área pretrabecular media fue de $0,21 \pm 0,13 \text{ mm}^2$ (rango 0,01 a 0,97).

Se propusieron la distancia iris malla y el área pretrabecular como alternativas al AOD y al TISA por considerarlas más exactas, ya que tienen en cuenta la longitud de la malla trabecular. Los parámetros clásicos por el contrario, se trazan siempre a 500 micras del espolón escleral siendo independientes de la malla y no se pueden medir cuando existe contacto irido-trabecular.

Se observó un contacto iridotrabecular en 34 ojos de 25 pacientes del total de 2.012 ojos, lo que representó un 1,6% de los ojos. Todos los ojos que presentaban un contacto iridotrabecular tenían una abertura angular menor de 15 grados. El TICL medio fue de $238,97 \pm 79,04$ micras (rango 103 a 495 micras). Hemos medido un parámetro original que proponemos en este trabajo que es el TICL porcentual, que fue de $46,98 \pm 13,87\%$ (rango 17,2 a 76,3%). De esta manera se puede conocer no sólo si existe o no un contacto iridotrabecular, si no el porcentaje que representa la longitud del contacto iridotrabecular sobre la longitud total de la malla.

CONCLUSIONES.

- 1.- La OCT-SA FD es una técnica eficaz y reproducible en el análisis y medición del ángulo iridocorneal y la malla trabecular.
- 2.- La OCT-SA FD permite identificar las estructuras que conforman el ángulo definiendo sus características tomográficas y cuantificando su frecuencia de aparición. Los signos tomográficos más relevantes, y que fueron identificados en un porcentaje muy elevado de los casos, han sido el limbo externo, la transición corneo-escleral, la malla trabecular y el espolón escleral.
- 3.- La OCT-SA FD permite medir de forma precisa la abertura angular en grados. Esta se correlaciona fuertemente con la edad, el sexo, el defecto refractivo esférico, y la profundidad y volumen de la cámara anterior, no observándose correlación con la presión intraocular.
- 4.- Existe una concordancia baja en cuanto a la medida de la abertura angular entre la OCT-SA FD y el dispositivo de cámara de Scheimpflug, no siendo equivalentes sus valores.
- 5.- La OCT-SA FD permite medir de forma precisa la malla trabecular, concretamente su longitud, grosor y área. No existió correlación entre las medidas de la malla trabecular con ninguno de los parámetros generales ni parámetros morfométricos del globo ocular estudiados en nuestra población.
- 6.- La OCT-SA FD permite medir de forma precisa los parámetros clásicos del ángulo como son la distancia de abertura angular (AOD), área irido-trabecular (TISA), y longitud de contacto iridotrabecular (TICL).
- 7.- La OCT-SA FD permite además medir nuevos parámetros del ángulo que proponemos como originales, como son la distancia iris-malla, el área pretrabecular, y la longitud de contacto iridotrabecular porcentual.
- 8.- Los parámetros originales propuestos en este trabajo permiten medir de una forma más exacta y eficaz el ángulo camerular, ya que tienen en cuenta la longitud de la malla trabecular. Además pueden medirse en ángulos en los que existe contacto iridotrabecular, al contrario que en el caso del AOD y el TISA.
- 9.- El Pentacam® y el IOL Master® permiten medir de forma precisa y eficaz la profundidad de la cámara anterior, presentando una gran concordancia entre ellas y siendo comparables sus medidas.

LISTADO DE ABREVIATURAS

AOD: Distancia de abertura angular

BMU: Biomicroscopia ultrasónica

C.A: Cámara anterior

CCI: Coeficiente de correlación intraclase

D.E: Desviación estándar

DIM: Distancia iris malla

HA: Humor acuoso

IC 95%: Intervalo de confianza al 95%

M.T: Malla trabecular

N: Número

OCT-SA: Tomografía de coherencia óptica de segmento anterior

OCT FD: Tomografía de coherencia óptica Fourier Domain

OCT TD: Tomografía de coherencia óptica de dominio temporal

OCT SD: Tomografía de coherencia óptica de dominio espectral

OD: Ojo derecho

OI: Ojo izquierdo

P: probabilidad

PIO: presión intraocular

TICL: Longitud de contacto iridotrabecular

TISA: Área iridotrabecular

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Cuantitative study of the trabecular meshwork and its relationship to the morphometry of the eye in the normal population using an anterior segment Fourier Domain OCT. Fernández-Vigo López J, Fernández-Vigo Escribano J., Fernández-Vigo Escribano C., Macarro Merino A., Martínez de la Casa J.M., García Feijóo J. Congreso anual ARVO, Seattle, EEUU, 2013.

Descriptive study of the anterior chamber angle using anterior segment Fourier Domain OCT and its relationship to the morphometry of the eye in the normal population. Fernández-Vigo Escribano J., Fernández-Vigo Escribano C., García Bella J., Martínez de la Casa J.M., García Feijóo J., Fernández-Vigo López J. Congreso anual ARVO, Seattle, EEUU, 2013.

El defecto refractivo como indicador de la abertura del ángulo camerular. Estudio mediante OCT de segmento anterior de Fourier Domain. Fernández-Vigo Escribano J., García Feijóo J., Martínez de la Casa J.M., Fernández-Vigo Escribano C., Fernández-Vigo López J. Congreso anual de la SEO, Tenerife, 2013.

Estudio comparativo entre Pentacam® y OCT en la medida del ángulo camerular, y con IOL Master® en la medida de la profundidad de la cámara anterior. Fernández-Vigo Escribano J., García Bella J., Martínez de la Casa J.M., García Feijóo J. Congreso anual de la SEO, Tenerife, 2013.

Fernández-Vigo Escribano J, García Feijoo J. Estudio descriptivo mediante OCT del ángulo camerular y la malla trabecular y su relación con la morfometría del globo ocular en la población normal. Congreso anual de la SEO, Barcelona, 2012.

Estudio descriptivo mediante OCT de la malla trabecular y su relación con la morfometría del globo ocular en la población normal. José Fernández-Vigo Escribano, Cristina Fernández-Vigo Escribano, Ana Macarro Merino, José Fernández-Vigo López, José María Martínez de la Casa, Julián García Feijoo. Reunión anual de la sociedad oftalmológica de Madrid, 2012.

Estudio descriptivo mediante OCT del ángulo camerular y su relación con la morfometría del globo ocular en la población normal. José Fernández-Vigo Escribano, José Fernández-Vigo López, Cristina Fernández-Vigo Escribano, Ana Macarro Merino, José María Martínez de la Casa, Julián García Feijoo. Reunión anual de la sociedad oftalmológica de Madrid, 2012.

Fernández-Vigo Escribano J, Fernández-Vigo López J, Fernández-Vigo Escribano C, Macarro Merino A. Análisis morfológico del ángulo camerular mediante OCT-SA Fourier Domain. Congreso anual de la SEO, Oviedo, 2011.

Premio INCIVI a la mejor comunicación en panel presentada en la Reunión anual de la Sociedad Oftalmológica de Madrid, del año 2012 a los doctores José Fernández-Vigo Escribano, Cristina Fernández-Vigo Escribano, Ana Macarro Merino, José Fernández-Vigo López, José María Martínez de la Casa, Julián García Feijoo; por su presentación “Estudio descriptivo mediante OCT de la malla trabecular y su relación con la morfometría del globo ocular en la población normal”.

IMPORTANCIA Y **JUSTIFICACIÓN**

IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN:

¿Por qué es importante el estudio del glaucoma y del ángulo mediante la tomografía de coherencia óptica?

LA IMPORTANCIA DEL GLAUCOMA:

El glaucoma, considerado la segunda causa de ceguera en los países industrializados, es una de las enfermedades oftalmológicas más clásicas, conocida ya de antiguo, y que ha despertado desde siempre un enorme interés en la medicina en general y en la oftalmología en particular.

El glaucoma es una enfermedad que podríamos calificar con tres adjetivos: grave, frecuente y enigmática.

Su extrema gravedad como causa de ceguera total, bilateral e irreversible le confiere un interés médico capital.

Su gran frecuencia convierte al glaucoma en un problema epidemiológico de primera magnitud debido a los problemas sociales y económicos que acarrea y a la consecuente pérdida de calidad de vida en los pacientes afectados.

Y por si fueran pocos los motivos antes descritos, desde un punto de vista académico y científico el glaucoma es una enfermedad apasionante, ciertamente enigmática y que ha despertado y despierta un interés intelectual enorme en la comunidad oftalmológica hasta el punto de ser una de las subespecialidades más prestigiosas y solicitadas de la oftalmología. Su importancia dentro de nuestra especialidad podríamos sintetizarla utilizando la extendida paráfrasis “si el glaucoma no existiera los oftalmólogos tendríamos que inventarlo”.¹

¿Y por qué es enigmática? Un observador externo que realizara un análisis desapasionado del estado actual del glaucoma se encontraría con numerosas incógnitas, dudas y contradicciones. Desde la discusión permanente sobre el mismo concepto de la enfermedad asociándolo de forma más o menos directa al de presión intraocular hasta los tratamientos medico-quirúrgicos más controvertidos, pasando

por la interpretación de los medios diagnósticos más sofisticados, pocas cosas hay ciertas en el glaucoma.

Un paradigma. Algunas definiciones recientes de glaucoma rehúyen mencionar el término “presión intraocular” al considerar al glaucoma una neuropatía óptica caracterizada por una pérdida progresiva de células ganglionares de la retina que da lugar a un adelgazamiento sectorial o difuso de la capa de fibras nerviosas de la retina y a la alteración del campo visual². La PIO queda relegada a un segundo plano como un simple factor predisponente, quizás el más relevante, pero al fin y al cabo un discreto segundo plano. La papila parece haber tomado todo el protagonismo. Ésta pérdida de protagonismo de la presión intraocular probablemente se deba a la falta de medios que ha determinado que el grupo de estructuras relacionadas con la eliminación permanezcan ocultas tras años de estudio del glaucoma. Por ejemplo, hace 30 años se estudiaba la tonografía, mientras que actualmente casi no se estudia la eliminación del humor acuoso.

En consecuencia los intereses científicos han virado y se han orientado a la papila. Como no podemos estudiar el acuoso busquemos otros focos de atención que nos permitan desenmarañar el problema, desenmascarar al glaucoma. En este aspecto la incorporación de la tomografía de coherencia óptica ha supuesto una revolución y nos permitió conocer las consecuencias del glaucoma, conocer con más detalle el daño sobre el nervio óptico. Pero no las causas.

Quizás la investigación sobre las causas del glaucoma deba definir, como primer paso, el papel de la hipertensión ocular, y como segundo establecer el papel del ángulo y de las vías de drenaje y aquí juega nuevamente un papel trascendental la OCT.

LA IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL ÁNGULO:

Todo ha ido avanzando en el glaucoma. Dicho con más precisión, “casi” todo ha ido avanzando en el glaucoma. Las terapias médica y quirúrgica han recibido grandes aportaciones. En cuanto al diagnóstico, clásicamente sustentado en el trípode tonometría, campimetría y fondo de ojo, se han añadido nuevos parámetros mientras

se perfeccionan los clásicos. La anteriormente inexpugnable papila ha dejado de serlo y podemos evaluar muchísimos más factores que hace unos años.

Pero estamos olvidándonos de un factor clave en el glaucoma, ¿por qué sube la PIO? y ¿qué papel juegan el ángulo y las vías de drenaje en los niveles de la PIO?.

Desde un punto de vista fisiopatológico parece aceptado que el problema radica en la eliminación del humor acuoso. Y el ángulo y sus estructuras de drenaje son claves en este cometido, sin embargo y a pesar de su trascendencia los conocemos de forma harto incompleta siempre “ex vivo”. Las vías son conocidas por la histología, su potencial sistema de funcionamiento a través de modelos experimentales, pero ni en uno ni en otro caso hay estudios del ojo humano “in vivo”. Y hay un dato clave descrito que pone de manifiesto las limitaciones de estos estudios: el canal de Schlemm se colapsa con la hipertensión ocular y se abre en condiciones de hipotensión³, y por definición en los estudios histológicos no hay presión intraocular. Por lo que en las preparaciones se observa siempre un canal de Schlemm “espléndido”, algo que no se corrobora posteriormente con las imágenes tomográficas, pareciendo pues un artefacto. Tanto la cámara anterior, como el ángulo, el Schlemm y probablemente la malla trabecular son espacios virtuales, cuya anatomía e histología se ven modificadas por las preparaciones y cortes histológicos únicas vías de estudio objetivas hasta el momento actual.

Entonces ¿qué es lo que sabemos del ángulo y de las estructuras en él contenidas, la malla y las vías de drenaje?.

Analizando por partes lo primero es plantearse el papel del ángulo.

En una reciente publicación la Academia Americana de Oftalmología⁴ revisando las aportaciones de la OCT de Segmento Anterior en el diagnóstico y tratamiento del glaucoma resalta la importancia del ángulo. Parte de la base de que el tratamiento se realiza en función del tipo de glaucoma. Y la forma de diferenciar a los glaucomas, en ángulo abierto o cerrado, depende de la clasificación del ángulo de la cámara anterior. Esta valoración clásicamente se ha realizado mediante la gonioscopia, un método

subjetivo y de muy difícil estandarización. Una limitación grave que ha dificultado la utilización de protocolos internacionalmente aceptados.

Por ello se plantean si la OCT-SA puede ayudar de forma definitiva a esta estandarización. De ahí en parte la importancia de nuestro trabajo ya que incidimos directamente en un tema clave y actual del glaucoma.

Además en la misma publicación plantean una segunda cuestión, si esta estandarización resulta útil para establecer la indicación de las iridotomías preventivas. En nuestra opinión aceptar como única esta aplicación es limitar enormemente el campo de conocimiento sobre el tema. Aunque el objetivo clínico más importante quizá sea ése por su posible aplicación inmediata, conocer la anatomía del ángulo in vivo, poder cuantificarla hasta en sus mínimos detalles y en diferentes condiciones, conocer y medir aspectos tan precisos como el área de malla expuesta al acuoso, poder medir la longitud de contacto entre la periferia del iris y la malla, nos podrán ayudar a entender la hidrodinámica del humor acuoso y realizar modelos que nos permitan predecir su comportamiento en la cámara anterior.

Detrás del ángulo se encuentran la segunda y tercera estructuras, la malla trabecular y las vías de drenaje. El estudio del ángulo nos permite establecer una primera clasificación del glaucoma, pero una vez el acuoso llega a su punto de salida, atravesando un ángulo más o menos estrecho, ¿qué sucede con la segunda y tercera estructura? ¿qué acontece con la malla trabecular y las vías de drenaje? ¿Qué sucede con la mayor parte de los glaucomas trabeculares y post trabeculares?.

Párrafos arriba decíamos que la OCT podría ayudarnos a conocer las causas del glaucoma.

Probablemente dentro de las causas haya una fundamental, la hipertensión ocular. Probablemente esta hipertensión tenga su causa en una reducción en la salida del acuoso. Probablemente esta reducción esté relacionada con un aumento de la resistencia a la salida. ¿Pero en qué punto del trayecto de salida se produce esa dificultad? ¿antes de llegar a la malla por cierre o estrechamiento del ángulo?, ¿por obstrucción pre-trabecular, trabecular, o post-trabecular? y dentro de esta última ¿en

el canal de Schlemm, en los colectores, en las venas del acuoso...?. De esta forma nos adentramos en el estudio de las posibles causas, y gracias al advenimiento de la OCT de segmento anterior se nos abren nuevas posibilidades.

Ahora se estudian, no sólo las consecuencias, sino las causas. En nuestra opinión son tres los aspectos que permitirán incrementar el conocimiento de esas causas: en primer lugar explorar el ángulo de forma objetiva, en segundo lugar conocer la malla trabecular, y en tercer lugar el conjunto canal de Schlemm-estructuras de drenaje.

JUSTIFICACION DEL ESTUDIO:

¿Qué aporta nuestro trabajo? Dos aspectos fundamentales:

- La aplicación de la tecnología más avanzada utilizando la tomografía de Fourier domain de alta resolución para el estudio del ángulo y de sus estructuras.
- El número de pacientes y parámetros evaluados. La población estudiada es una de las más numerosas de las publicadas hasta la fecha y los resultados muy homogéneos ya que la población ha sido evaluada siempre por los mismos examinadores, en las mismas condiciones y siguiendo los mismos criterios. Es un largo trabajo que comenzó hace 3 años y que ha ido perfeccionándose. El tamaño de la muestra analizada nos permite realizar numerosos cálculos estadísticos y epidemiológicos de gran consistencia.

Otros aspectos a destacar:

- En primer lugar se evalúa la fiabilidad de la técnica mediante estudios de reproducibilidad inter e intraobservador lo que resalta igualmente la fiabilidad del estudio.
- En segundo lugar se describen las imágenes tomográficas correlacionándolas con los detalles anatómicos del ángulo con una descripción exhaustiva de los mismos y su frecuencia de aparición con la finalidad de estandarizar y homogeneizar su estudio. Resaltamos la dificultad del estudio de las vías de drenaje.

- En tercer lugar se analizan aspectos novedosos sobre el ángulo. Se cuantifica la abertura angular y se establece su relación con la edad y el defecto refractivo, entre otros parámetros, con una aportación relevante y original sobre las décadas concretas en las que se producen esos cambios. Por otra parte se cuantifica la abertura angular en función de estos parámetros en diversos modelos estadísticos, por ejemplo mediante modelos de regresión múltiple.
- En cuarto lugar se hace un análisis detallado sobre el tamaño de la malla trabecular, evaluando grosor, longitud y área, y valorando si existe relación entre el tamaño de la malla y otras estructuras del globo ocular en general y de la cámara anterior y de la córnea en particular. La malla trabecular es otra de las grandes desconocidas. Hasta el momento solo podía estudiarse “ex vivo”, en ojos enucleados o de cadáver, siempre mediante técnicas histológicas que a través de todo su procesamiento pueden provocar cambios muy sustanciales. Un análisis sistemático y numeroso como el aquí presentado nos permite conocerla con gran detalle.
- En quinto y último lugar, una vez conocida y medida la malla a la que consideramos como objetivo fundamental de la exploración, se hace un estudio sobre los parámetros del ángulo. Comparamos las mediciones clásicas realizadas por la mayor parte de los autores para catalogar la abertura angular con nuevos parámetros originales que proponemos en nuestro trabajo. Este objetivo lo fundamentamos en el error que estimamos que se produce en las mediciones clásicas al realizarse de forma indirecta y presuponiendo hechos y datos que demostramos como poco exactos, por ejemplo presumir que la longitud de la malla es de 500 micras en todos los pacientes.

DESARROLLO POSTERIOR Y POTENCIALES APLICACIONES DE LA OCT DE SA FD:

Una vez analizadas nuestras aportaciones en el momento actual, ¿cuáles pueden ser las aplicaciones de la OCT-SA FD?, ¿qué nos puede deparar el futuro?.

La OCT del ángulo puede llegar a considerarse una exploración rutinaria para clasificar, no sólo a los pacientes glaucomatosos, sino a todos los pacientes en su primera revisión oftalmológica.

El detalle que nos ofrece la resolución de los actuales sistemas nos servirá sin duda para descartar malformaciones congénitas, anomalías adquiridas, cambios relacionados con la edad, con el cristalino, etc. Es decir, conocer mejor y con antelación algunas de las potenciales causas de la elevación de la presión intraocular.

Es muy probable que una de las claves del glaucoma, al menos de la hipertensión ocular, se encuentre en las vías de salida. Tenemos que profundizar en su estudio para tratar de aclarar su papel. Es posible que si la tecnología nos lo permite el estudio de las vías de eliminación vuelva a un primer plano del glaucoma para recuperar el protagonismo que le ha robado el estudio de la papila. Un avance en su estudio “dispararía” el interés terapéutico tanto médico como quirúrgico, no en vano casi todos los esfuerzos terapéuticos están dirigidos a la regulación de la presión intraocular, especialmente a través de aumentar la eliminación del acuoso.

En este trabajo nos hemos puesto dos limitaciones, en cuanto al contenido y en cuanto a los plazos.

Aunque existe la natural tendencia a buscar la aplicación directa de los conocimientos hemos preferido, frente a la brillantez y espectacularidad de las aplicaciones clínicas, profundizar en el conocimiento de los hallazgos, aumentando la población a estudiar y analizando bajo distintos puntos de vista su fiabilidad y repetibilidad, para que de esta forma sea un trabajo muy fiable y con pocas grietas. En definitiva hemos renunciado a la espectacularidad frente a la solidez de los resultados.

Dada la confusión existente en este campo hemos querido hacer un trabajo que sirva de referencia. Donde no haya puntos débiles, o al menos que sean los menos posibles.

Posibles aplicaciones clínicas como el cambio en la abertura angular tras cirugía de catarata, tras iridotomías, tras implante de lentes fáquicas de cámara anterior o posterior, son clínicamente muy brillantes, pero de menor valor científico frente a la constatación de la normalidad y sus posibles variaciones fisiológicas.

Hemos sacrificado pues resultados brillantes frente a resultados sólidos.

La tesis había que cerrarla en algún momento. Tres años es el tiempo suficiente para su maduración y para evitar su obsolescencia, de hecho algunos aspectos originales que proponemos ya han sido parcialmente publicados por otros autores. Siempre existe la tentación de prorrogarla y más en este caso dadas las nuevas vías que se nos abren y que resultan tentadoras. Disponer de la normalidad permite todo tipo de comparaciones. Pero como decíamos antes hemos preferido la solidez de los resultados, queremos estar seguros de su fiabilidad. Hay numerosa bibliografía realizada sobre pocos casos, existe una marcada tendencia a ser el primero en comunicar algo nuevo, aunque sea poco consistente, aunque no esté totalmente avalado. Y por ello existe la confusión actual. Donde unos ven el canal de Schlemm, otros ven un artefacto y otros no solo lo ven y son capaces de medirlo sino que lo comparan con el de pacientes glaucomatosos encontrando diferencias significativas.

Existen diferencias de criterio, de metodología y de tecnología que limitan la fiabilidad y crédito de una técnica de la que sólo estamos atisbando una pequeña muestra de sus posibilidades.

Con esta Tesis Doctoral pretendemos aportar casuística, solidez y criterio para poder terciar en la polémica con la ilusión de que con el tiempo nuestro trabajo se convierta en referencia sobre el tema, lo que supondría que el esfuerzo realizado haya sido útil.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

HIPÓTESIS:

La tomografía de coherencia óptica de segmento anterior Fourier Domain es una técnica de exploración eficaz para el análisis morfológico y morfométrico del ángulo camerular y de la malla trabecular, equiparable en reproducibilidad a otros procedimientos exploratorios del segmento anterior. Con la OCT Fourier Domain es posible medir los parámetros clásicos y definir unos nuevos parámetros, así como medir la malla trabecular y otras estructuras del globo ocular especialmente de la anatomía angular, que nos permitirán una mejor definición del patrón de normalidad y que mejoren la rentabilidad diagnóstica a la hora de fijar los límites con la patología glaucomatosa.

OBJETIVOS:

- **OBJETIVO GLOBAL:**

Analizar el ángulo camerular y la malla trabecular mediante la OCT de segmento anterior Fourier Domain para definir el patrón de normalidad y establecer su relación con otros parámetros oculares.

- **OBJETIVOS CONCRETOS:**

1.- Analizar la reproducibilidad intra e interobservador de la OCT FD en las mediciones del ángulo y de la malla trabecular.

2.- Identificar las estructuras que conforman el ángulo definiendo sus características tomográficas y cuantificando su frecuencia de aparición y grado de visualización.

3.- Medir, utilizando el OCT FD, la abertura angular en grados y relacionarla con la edad, sexo, defecto refractivo esférico, presión intraocular y otros parámetros de la cámara anterior y del globo ocular

4.- Medir, utilizando la cámara de Scheimpflug o Pentacam®, la abertura angular en grados y relacionarla con la edad, sexo, defecto refractivo esférico, presión intraocular y otros parámetros de la cámara anterior y del globo ocular.

5.- Comparar los resultados de abertura angular obtenidos mediante OCT FD con los de la cámara de Scheimpflug.

6.- Medir, utilizando el OCT FD, la malla trabecular, concretamente su longitud, grosor y área, y relacionarla con la edad, el sexo y otros parámetros de la cámara anterior y del globo ocular.

7.- Medir los parámetros clásicos del ángulo mediante OCT FD: distancia de abertura angular (AOD), área irido-trabecular (TISA), y longitud de contacto iridotrabecular (TICL).

8.- Proponer y medir parámetros originales del ángulo mediante OCT FD como son la distancia iris-malla, el área pretrabecular y la longitud de contacto iridotrabecular porcentual.

9.- Comparar los parámetros angulares clásicos con los originales propuestos.

10.- Medir además: la cámara anterior en cuanto a su profundidad, volumen y diámetro, el diámetro pupilar, el grosor del iris y la longitud axial del globo ocular, para valorar su relación con respecto a la anatomía angular y a la malla trabecular.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El ángulo iridocorneal es una estructura fundamental de la cámara anterior que ha sido profunda y extensamente estudiado desde un punto de vista gonioscópico, anatómico, histológico y citológico.^{5,6,7,8,9}

En este capítulo procedemos a un recuerdo anatómico e histológico de los principales tejidos que forman el ángulo o que presentan estrechas relaciones estructurales y de vecindad con el mismo (fundamentalmente córnea, esclera y úvea), para comprender mejor su comportamiento en la formación de la imagen OCT. Posteriormente, analizaremos con detalle el ángulo en su conjunto y las distintas estructuras que lo componen.

1. ANATOMÍA DEL ÁNGULO IRIDOCORNEAL.

1.1 CONCEPTO DE ÁNGULO:

Para Sampaolesi¹⁰ el seno o ángulo iridocorneal es la parte más periférica de la cámara anterior donde se reúnen la pared anterior o escleral con la pared posterior o iridiana, por medio de un segmento curvo, constituido por la cara interna del cuerpo ciliar.

El ángulo también ha sido definido como una estructura anatómica de la cara anterior del globo ocular consecuencia de la convergencia de la pared corneoescleral que forma la parte anteroexterna y la posterointerna, cilioiridiana, con el correspondiente vértice⁵ (figura 1).

Por tanto, en cuanto a los límites del ángulo iridocorneal, en su pared externa, está constituido por el limbo esclerocorneal. Se considera como límite anterior del limbo un plano trazado por el extremo de la membrana de Bowman que pasa también por el de la membrana de Descemet.

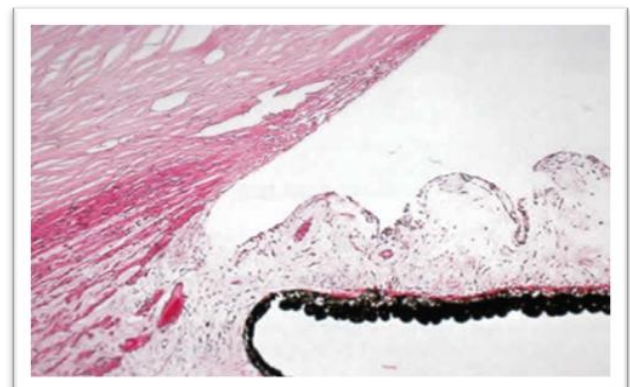


Figura 1: Histología del ángulo camerular (Extraído de Tasman W, Jaeger E. Duane's Ophthalmology. Lippincott Williams & Wilkins. 2002).

El límite posterior del limbo esclerocorneal está también delimitado por un plano perpendicular al ojo que pasa por el espolón escleral a 1,5 mm por detrás del polo anterior.

La pared interna del limbo esclerocorneal está bañada por el humor acuoso. Para Ortiz⁵ los tejidos corneoesclerales presentan unas formaciones especiales: el canal de Schlemm, la red trabecular y el espolón escleral. Los límites del ángulo en su pared interna estarían constituidos por delante por la línea de Schwalbe y por detrás por el último pliegue de contracción del iris. Por ello podemos considerar, de acuerdo con los conceptos de ángulo antes expuestos que está compuesto por tres partes: pared antero-externa (porción corneoescleral), vértice del ángulo, y pared postero-interna (porción uveal).

Externamente el ángulo se corresponde con el limbo esclerocorneal. Entre la pared interna y la pared externa se encuentran las estructuras clave del sistema de drenaje del humor acuoso. De forma muy didáctica y gráfica Sampaolesi¹⁰ define y organiza las estructuras contenidas en la transición corneoescleral describiendo al seno camerular como una estructura formada por la esclera que en su extremidad anterior emite tres prolongaciones: el limbo, el septum escleral y el espolón escleral (figura 2).

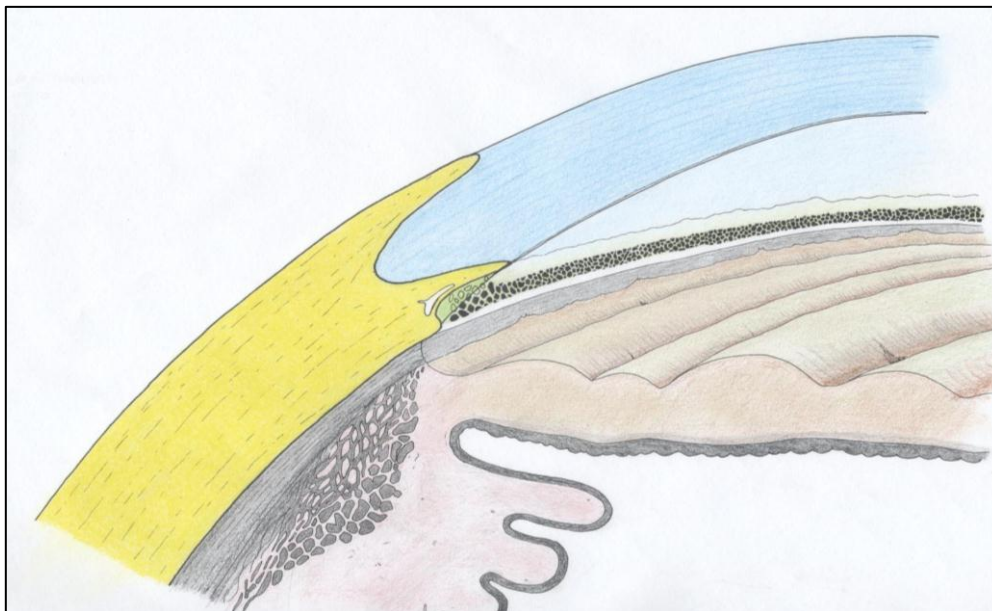


Figura 2: Esquema en el que se representa la estructura del ángulo camerular. En amarillo se representa el tejido escleral con sus 3 prolongaciones, en verde incluida en el surco escleral se encuentra la malla trabecular (Realizado por el Dr. Ignacio Almorín Fdez-Vigo).

En la descripción clásica el espolón escleral se detalla como una estructura aparte que se encontraría por detrás del septum donde la esclera forma un rodete angular o espolón angular al corte con su vértice dirigido hacia la cámara anterior constituido por una condensación de fibras de trayecto circular. Según esta idea el espolón delimita con el septum un espacio excavado en la esclera donde se aloja el canal de Schlemm denominado surco circular o escleral.^{5,6,10}

El ángulo desde un punto de vista anatómico, y con una considerable importancia quirúrgica, se encuentra en la parte interna del limbo esclerocorneal. Por ello casi siempre se ha definido el ángulo desde un punto de vista de su pared interna y con



menor importancia desde el punto de vista de su pared externa. Actualmente esta relación externa adquiere una gran importancia ya que la OCT nos permite relacionar la pared externa, o limbo esclerocorneal y la pared interna (figura 3).

Figura 3: Corte histológico del ángulo camerular (Extraído de Tasman W, Jaeger E. Duane's Ophthalmology. Lippincott Williams & Wilkins).

1.2 HISTOLOGÍA DEL ÁNGULO.

1) CÓRNEA:

La córnea es una estructura lenticular convexo-cóncava transparente y depresible. No posee vasos y la distribución de las fibras de colágeno que la forman permiten esa transparencia.

La cara anterior de la córnea tiene un diámetro transversal de 12 mm y vertical de 11 mm. La cara posterior tiene un diámetro de 12 mm. El grosor es variable siendo a nivel central de 0,5-0,8 mm y alcanzando en la periferia 1 mm.

Histológicamente la córnea está compuesta por cinco capas^{6,8}:

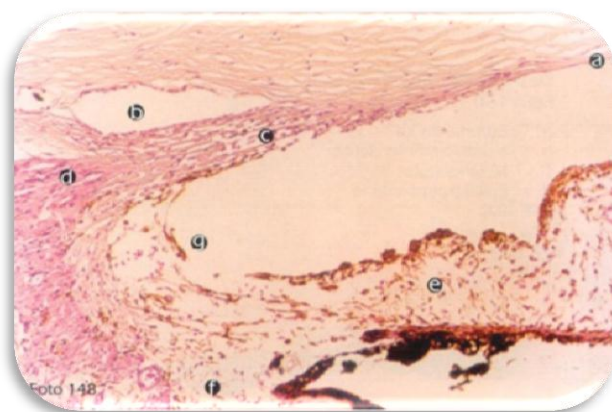
- El epitelio corneal es de tipo plano poliestratificado no queratinizado. Tiene un espesor de 50 micras y constituye un 10% del total de la córnea.

- La membrana de Bowman, está formada por fibras de colágeno y sustancia fundamental. Tiene un grosor de 8 a 14 micras.
- El estroma está formado por láminas de colágeno, fibroblastos y sustancia fundamental. El estroma ocupa el 85-90% del total de la córnea con un espesor de aproximadamente 500 micras. Las fibras de colágeno están dispuestas de forma paralela, y a medida que se aproximan a la membrana de Descemet son más finas. La sustancia fundamental compuesta por mucoproteínas y glicoproteínas envuelve éstas fibras. Por último los fibroblastos se disponen entre las laminillas.
- La membrana de Descemet está formada por fibras de colágeno que se distribuyen en estratos de forma ordenada. En el adulto tiene un espesor de 8-10 micras y en el nacimiento es de 2-3 micras. El anillo de Schwalbe rodea lateralmente a la membrana de Descemet con un trayecto circular de sus fibras de colágeno.
- El endotelio está formado por una capa de células hexagonales con un núcleo ovoide o central. Su función es el transporte de sustancias y la síntesis de algunos componentes de la membrana de Descemet.

2) ESCLERÓTICA:

Es la capa que mantiene la forma y ofrece protección del globo ocular dada su elasticidad y solidez. Tiene un espesor variable, entre 0,9 y 1,2 mm en las porciones anterior y posterior, y 0,6 mm en la porción media. La lámina fusca separa la coroides de la cara interna de la esclerótica.⁵

La esclera está formada por fibras de colágeno y fibras elásticas, su naturaleza y distribución caracterizan su patrón de comportamiento en la OCT. Las de colágeno se disponen en fascículos con direcciones variables según la zona en la que se encuentren. A nivel corneal las fibras de colágena de la esclerótica se continúan directamente con las de la córnea: su ordenación más regular y precisa determina una cierta transparencia en una pequeña región que recibe el nombre de limbo esclerocorneal.¹⁰



- a. Membrana de Descemet
- b. Canal de Schlemm
- c. Trabéculo
- d. Espolón escleral
- e. Iris
- f. Cuerpo ciliar
- g. Ángulo de la cámara anterior

Figura 4: Histología del ángulo camerular con sus principales estructuras.

Cabe destacar el espolón escleral por su importancia en la anatomía del ángulo. Es un saliente del tejido escleral que se insinúa entre el tendón del músculo ciliar y el canal de Schlemm. Es el lugar de inserción de la porción longitudinal del musculo ciliar y de las fibras de la malla trabecular (figura 4).

Se trata de un anillo circular de colágeno que rodea la totalidad del limbo esclerocorneal por su parte interna limitando por detrás a la malla trabecular. Es una zona diferenciada de la esclera, de la que forma parte y donde tienen su inserción posterior la mayor parte de las capas (trabéculas) que componen la malla trabecular. Se compone microscópicamente de fibras de colágena y elásticas con orientación circunferencial.^{11,12}

Línea de Schwalbe:

La línea de Schwalbe es una elevación irregular, de entre 50 y 150 micras de ancho que recorre el globo de manera circunferencial. Está localizada en la porción más periférica de la córnea, inmediatamente por delante de la malla trabecular siendo el límite entre el endotelio corneal y la malla. Es el punto dónde se encuentra el límite posterior de la membrana de Descemet y se inserta la malla trabecular en el estroma corneal. Las células secretoras de la línea de Schwalbe producen un material fosfolipídico que facilita el drenaje de humor acuoso.

Desde un punto de vista de la OCT podemos identificarla, en teoría, por tres signos. En primer lugar porque es una estructura que puede ser prominente, caso en el que es fácilmente identificable en la tomografía. En el caso de que no protruya, se puede

identificar como una transición de tejido transparente (correspondiente a la cornea) a un tejido opaco, el tejido translúcido blanquecino de la red trabecular. Y un tercer signo puede ser el cambio en la curvatura, ya que la curvatura corneal es mayor y más pronunciada que la escleral.

3) ÚVEA:

- **Iris:**

El iris es la parte anterior de la úvea. Nace de la parte más anterior del cuerpo ciliar justo antes de los procesos ciliares. Por delante de su nacimiento en el cuerpo ciliar todavía queda una parte de cuerpo ciliar entre la raíz del iris y el espolón escleral, denominada “banda ciliar”.

Respecto a la anatomía macroscópica, en la cara anterior encontramos regiones bien diferenciadas que tienen interés desde el punto de vista de la OCT:

- Reborde pupilar: formado por extensiones de las capas posteriores del epitelio pigmentario en el margen pupilar.
- Zona pupilar: es la porción del iris entre la pupila y el collarete.
- Collarete: Se trata de la porción más gruesa del iris que separa la zona pupilar de la zona ciliar. Las criptas del iris (Criptas de Fuchs) que se sitúan a ambos lados del collarete, están orientadas de forma radial.
- Zona ciliar: Es la porción del iris situada entre el collarete y el cuerpo ciliar. Puede dividirse a su vez en dos zonas. En raíz del iris, en la que el iris se hace más delgado, y es la zona más fina y periférica de la zona ciliar, y en las crestas radiales, que contienen vasos sanguíneos y tejido conectivo que se extienden desde el iris periférico hacia el collarete.
- También están presentes los pliegues concéntricos circulares de contracción y criptas periféricas (ciliares).

En la cara posterior del iris no encontramos estructuras de interés tomográfico.

- **Cuerpo ciliar:**

El cuerpo ciliar es la porción del tracto uveal que se encuentra entre el iris y la coroides. Aunque tiene importancia en la configuración del ángulo presenta escaso interés en la OCT dado que la transmisión de la luz es muy deficiente por la presencia de pigmento. La única estructura relevante en la OCT es la denominada banda ciliar, que representa la cara anterior del cuerpo ciliar y que está en contacto con el humor acuoso de la cámara anterior. Inmediatamente por detrás de la misma nace el iris. Por detrás de la raíz del iris y antes del comienzo de los procesos ciliares, queda una parte de la cara anterior del cuerpo ciliar, el llamado “surco ciliar”, revestido por epitelio pigmentario iridiano.

El cuerpo ciliar se continúa anteriormente con el espolón escleral (1,5 mm posterior al limbo) mediante las lamelas supraciliares, lateralmente al iris y medialmente al cristalino, y posteriormente con la ora serrata y la coroides.

La porción posterior del cuerpo ciliar tiene una superficie plana y se la conoce como pars plana, en cambio la porción anterior del cuerpo ciliar tiene entre 70 y 80 procesos ciliares en su superficie interna recibiendo el nombre de pars plicata.

1.3 ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL HUMOR ACUOSO:

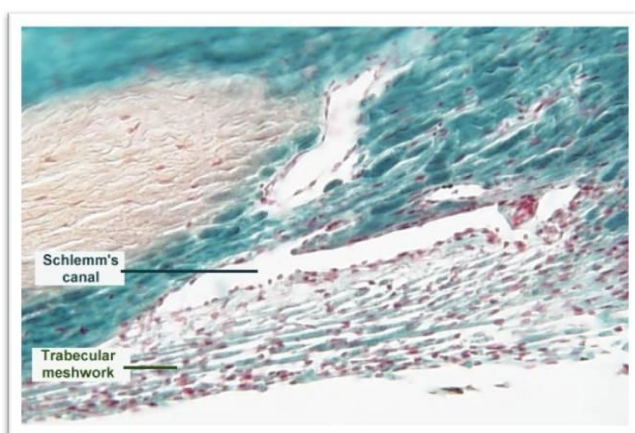


Figura 5: Histología de la malla trabecular y canal de Schlemm (Extraído de la web: School of Anatomy and human biology. The university of Western Australia).

- **Malla trabecular:**

La red trabecular es un filtro para el paso del humor acuoso desde la cámara anterior del ojo a nivel del ángulo irido-corneal hasta el canal de Schlemm. Está formada por la red corneoescleral y la red uveal.

La porción corneoescleral se extiende desde el final de la membrana de Descemet y el endotelio corneal hasta el espolón escleral. Y la porción uveal de la red trabecular se extiende desde el cuerpo ciliar hasta el espolón escleral^{6,10}. Los cordones uveales están cubiertos por endotelio y se ramifican profusamente uniéndose entre sí o con la malla corneoescleral adyacente a ellos (figura 5).

La malla trabecular tiene dos partes:

- Anterior (no filtrante, no pigmentada): sobre la corneoesclera hasta el septum. Comienza en la línea de Schwalbe y no tiene contacto con el canal de Schlemm. En la región no filtrante la membrana de Descemet se continúa con su borde posterior dividiéndose en lamelas que se continúan con la membrana basal de las células trabeculares. En la zona de transición desde la cornea hasta la región filtrante de la malla trabecular se diferencian cuatro zonas con diferencias histológicas y citológicas.
- Posterior (o filtrante): Recubre la pared interna del canal de Schlemm. La malla trabecular filtrante tiene tres porciones anatómica y funcionalmente distintas, como son la malla uveal, que es la más interna, la malla corneoescleral o zona intermedia, y la zona más externa o la lámina cribiforme (también denominada tejido yuxtacanalicular o malla endotelial).

La malla trabecular está compuesta por un gran número de láminas de tejido conjuntivo aplanadas y fenestradas y por trabéculas anastomosadas y ramificadas. Estas láminas se localizan en la porción uveal y porción corneoescleral de la malla trabecular. La primera es adyacente a la cámara anterior y consta de una a tres capas de bandas o lamelas trabeculares que se extienden desde la raíz del iris y el cuerpo ciliar hasta la córnea periférica, cerca del final de la membrana de Descemet (línea de Schwalbe). La malla trabecular corneoescleral consta de 8 a 15 capas de láminas trabeculares, que son más anchas que las de la porción uveal^{13,14}.

Estas láminas se extienden desde el espolón escleral a la pared lateral del surco escleral interno. La tercera parte de la malla es el tejido yuxtacanalicular o malla cribiforme, que en realidad constituye la pared interna del canal de Schlemm. El tejido yuxtacanalicular es la porción más pequeña de la malla trabecular, con un grosor de 2-

20 micras. No forma láminas o bandas conectivas, sino que está formado por tejido conectivo que incluye de dos a cinco capas de células dispersas imbuidas en una matriz extracelular fibrilar poco organizada. Las células del tejido yuxtacanalicular forman largos procesos por lo que se unen entre ellas, o bien a las fibras de la matriz extracelular o a las células del endotelio del canal de Schlemm. Los espacios entre las células del tejido yuxtacanalicular y las fibras de la matriz extracelular sirven de vía para el flujo del HA^{15,16}.

Cada lámina trabecular de la malla trabecular uveal o corneoescleral contiene colágeno y fibras elásticas en una disposición muy compacta. El colágeno es predominantemente de tipo I y III, mientras que las fibras elásticas, situadas en el núcleo de la lámina, difieren de las resto del organismo, pues contienen considerables cantidades de material electrodensito. Las láminas trabeculares están revestidas por completo por un endotelio plano, continuación del corneal, que reposa en una membrana basal rica en colágeno tipo IV y laminina. Limitan un sistema laberíntico de estrechos pasillos, los espacios intertrabeculares, que comunican con la cámara anterior y que están llenos de HA. Las células trabeculares tienen capacidad fagocítica y con la edad van adquiriendo gran cantidad de gránulos de pigmento en su citoplasma (procedente en su mayoría del iris), lo que confiere al trabeculum un aspecto marronáceo.¹⁷

La región de la malla trabecular que contiene un alto número de células pigmentadas parece localizarse de forma preferente junto a los canales colectores, lo que sugiere la existencia de “vías preferentes” en el drenaje del humor acuoso. Dado que el canal de Schlemm es más corto en dirección antero-posterior que la malla trabecular, se distingue una porción “filtrante” de la malla trabecular de una no filtrante, que no tiene canal de Schlemm junto a su porción externa.¹⁸

Debido a su alta porosidad, la porción uveal y la porción corneoescleral de la malla trabecular no proporcionan una resistencia significativa al flujo de HA. Por el contrario existe fuerte evidencia de que la resistencia al flujo normal de HA reside en la pared interna del canal de Schlemm^{6,15}, que está formado por el tejido yuxtacanalicular y el endotelio de la cara interna del canal.¹⁹

- **Canal de Schlemm:**

El canal de Schlemm es un canal circular único o doble incluido en el surco escleral. Su diámetro sagital oscila entre 350 y 500 micras ya que no es uniforme ni en forma ni en tamaño y con frecuencia se divide en dos canales separados por un septo.^{14,20,21} Es un canal vascular que se dispone alrededor del globo. Este canal está rodeado por esclera, malla trabecular y el espolón escleral. El diámetro del canal depende de la PIO, así cuando la presión está muy elevada este canal se encuentra ausente, sin embargo, con presiones bajas el calibre del canal aumenta (figura 6).^{3,22,23,24,25}

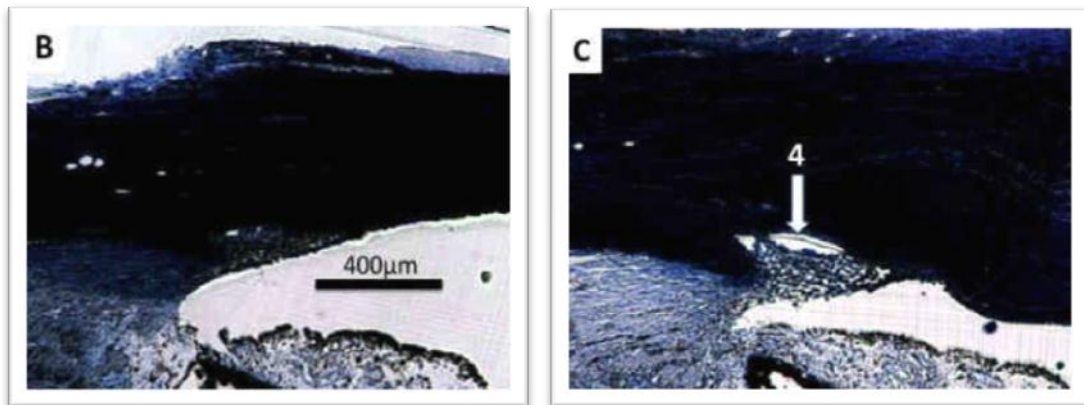
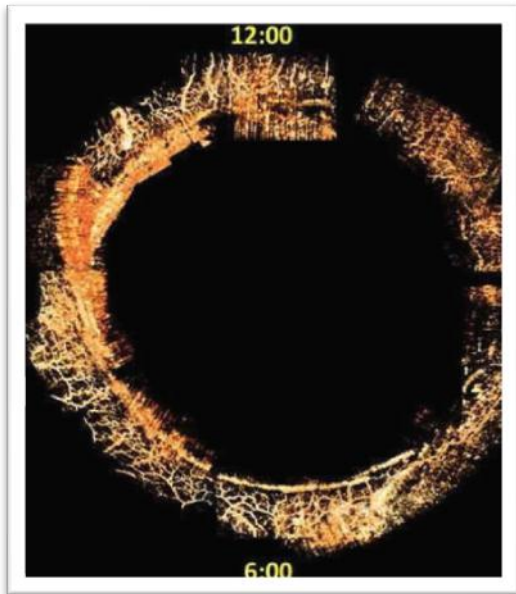


Figura 6: Imagen B: Corte histológico con una presión de perfusion de 20 mmHg en la cámara anterior, en la que no se aprecia el canal de Schlemm. Imagen C: El mismo corte con una presión de perfusion de 10 mmHg, en la que se visualiza claramente el canal de Schlemm (extraído de Kageman³). Esto como veremos más adelante, presenta una gran trascendencia en la imagen de la OCT en la identificación del canal de Schlemm.

En su parte anterior está frecuentemente colapsado, y en su parte posterior es más ancho con extensiones a la malla trabecular denominados canales colectores de Sondermann. Su capa endotelial se continúa con la del Schlemm y se consideran divertículos para aumentar la superficie de filtración.

El canal de Schlemm tiene como función participar en el drenaje del humor acuoso que va desde la cámara anterior hasta la malla trabecular, atravesando el propio canal para después llegar a los plexos venosos epiesclerales.

El canal de Schlemm tiene un perfil varicoso y en algunos puntos se divide en ramas irregulares que vuelven a reunirse (figura 7). La pared del canal está constituida por un endotelio, una lámina basal discontinua y una delgada capa de tejido conectivo.²⁰



Sobre la pared externa del canal, esto es, hacia el estroma limbar, el endotelio es extraordinariamente delgado.²⁶ Sin embargo en la pared interna del canal, hacia la malla trabecular, el endotelio muestra grandes variaciones de espesor según las diferentes técnicas de preparación, conteniendo grandes vacuolas intra o intercelulares que comunican con los espacios intertrabeculares.

Figura 7: Canal de Schlemm.
(Extraída de Kageman²⁴).

Parece que estas vacuolas están implicadas en el proceso de absorción del HA desde la cámara anterior, formándose en respuesta al gradiente de presión del flujo. Se han descrito además unos poros paracelulares, que tienen gran importancia en la resistencia al flujo de HA, aunque parece que los valores clásicos de un 10-48% deben ser revisados al alza.

La luz del canal de Schlemm no comunica directamente con los espacios de la malla trabecular, sino que está separada de estos espacios por las siguientes capas: 1) el endotelio que reviste la pared interna del canal; 2) el tejido conectivo de la adventicia del canal de Schlemm, que corresponde al tejido conectivo yuxtacanalicular, y 3) el revestimiento endotelial de los espacios trabeculares.¹⁴

El canal de Schlemm drena a una serie de canales colectores externos e internos, que forman parte del sistema de drenaje, y que colaboran en la función de eliminación del acuoso. En su conjunto, drenan a un complejo sistema de plexos venosos intraesclerales, episclerales y subconjuntivales.

FISIOLOGÍA DEL HUMOR ACUOSO.

El humor acuoso es un líquido transparente que se crea en el epitelio del cuerpo ciliar en la cámara posterior del ojo, y que una vez creado, se encuentra entre el iris y el cristalino y pasa a la cámara anterior a través de la pupila. La mayor parte del humor acuoso abandona la cámara anterior del ojo a través de la vía convencional de drenaje o vía trabecular, que consta de la malla trabecular (mallas uveal y corneoescleral), tejido conectivo yuxtacanalicular, el tapiz endotelial del canal de Schlemm, los canales colectores y las venas acuosas (figura 8). Existe otra vía, presión independiente, llamada vía no convencional o uveoescleral^{27,28}, a través de la región de la inserción anterior del músculo ciliar, ya que no existe capa endotelial o epitelial completa que cubra la superficie anterior del cuerpo ciliar.

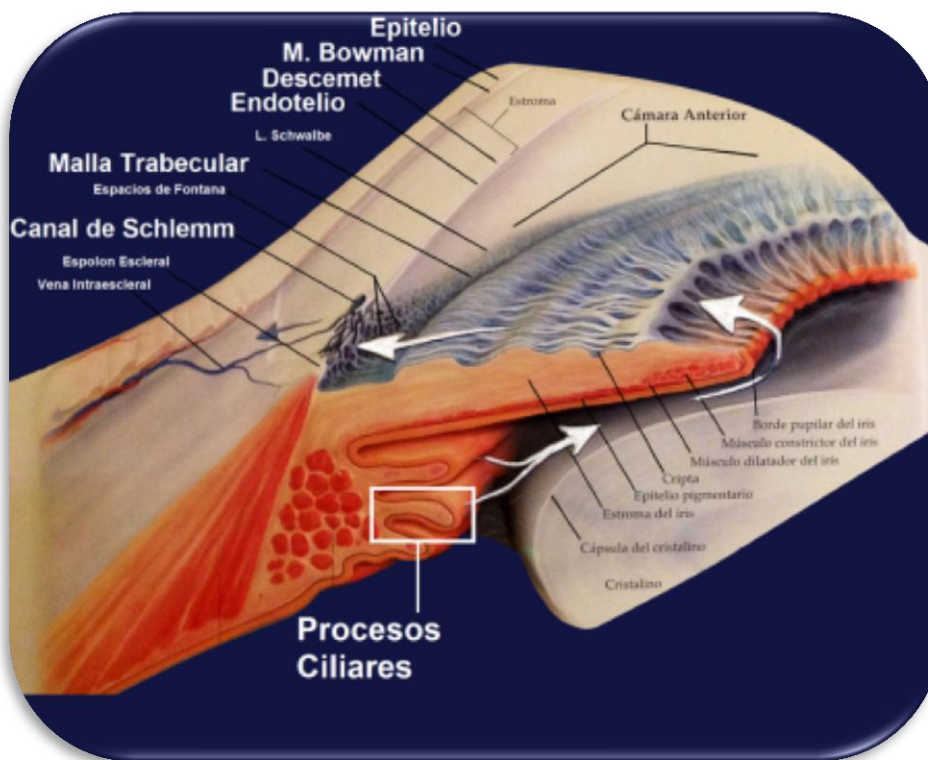


Figura 8: Circulación del humor acuoso e histología del ángulo iridocorneal. (Extraído de oftalmología-online.es)

El movimiento del humor acuoso en la cámara anterior está sujeto a corrientes térmicas, donde asciende cuando está cercano al iris, debido a la temperatura elevada de éste órgano, y desciende cuando está cerca de la córnea ya que presenta una temperatura más baja.^{29,30} El humor acuoso tiene varias funciones entre las que se encuentran el aporte de nutrientes al cristalino, córnea e iris, y la eliminación de

productos del metabolismo y sustancias tóxicas de estas mismas estructuras. Otra de las funciones del humor acuoso es dotar al ojo de un medio transparente para la visión, y debido a su continua formación y drenaje mantiene la PIO, que conserva la forma del globo.³¹

Los mayores determinantes intraoculares de PIO son la formación de humor acuoso, la facilidad de salida del humor acuoso, la presión de las venas epiesclerales y la vía de drenaje uveoescleral.²⁷

VÍAS DE DRENAJE DEL HUMOR ACUOSO:

- **Vía convencional**

La vía convencional de drenaje del humor acuoso participa en la salida de aproximadamente el 80% del HA de la cámara anterior, y su flujo es presión dependiente. En esta vía el humor acuoso atraviesa la malla trabecular y el canal de Schlemm. La luz de éste canal se comunica directamente con las venas epiesclerales, completando la vía circulatoria en la que el humor acuoso vuelve al corazón. La región que mayor resistencia ofrece a la salida del humor acuoso por la vía convencional se encuentra en la zona entre la cámara anterior y la pared externa del canal de Schlemm⁶.

La vía convencional de drenaje de humor acuoso tiene varias funciones, entre las que se encuentra en primer lugar la de actuar como una vía circulatoria en la que el humor acuoso retorna del sistema vascular. La segunda función que cumple es la de evitar el reflujo sanguíneo a la cámara anterior lo cual es importante desde el punto de vista óptico. La tercera función del sistema de drenaje trabecular es la de mantener una PIO estable independientemente de la tasa de formación de humor acuoso y de la tonicidad del músculo ciliar. Y la cuarta función es la de fagocitar material extraño.

- **Vía no convencional o úveoescleral:**

Mediante ésta vía sale una cantidad menor de humor acuoso, y en su trayecto pasa a través del músculo ciliar, del iris, la esclera, y otras estructuras del segmento anterior para alcanzar posteriormente el espacio supraciliar y supracoroideo. El humor acuoso sale del ojo a través de los espacios existentes alrededor de los vasos y de los nervios que penetran a través de la esclera. Esta vía uveo-escleral parece estar presente en la mayoría de especies, pero la proporción de humor acuoso que transporta es muy variable. En el humano se calcula que entre un 5% y un 25% del total del drenaje de humor acuoso se produce mediante esta vía. La mayor resistencia al flujo uveo-escleral se encuentra en la tonicidad del músculo ciliar³², y los factores que hacen contraer el músculo ciliar reducen el drenaje uveo-escleral. Como ya hemos comentado, la vía no convencional es independiente de los niveles de PIO, mientras que la convencional es presión dependiente, por lo que aumenta el drenaje de HA ante aumentos de PIO.^{33,34}

El glaucoma afecta en la mayoría de los casos a la salida del humor acuoso³⁵. Dependiendo del tipo de glaucoma la salida del humor acuoso está limitada por diferentes factores. Así por ejemplo, en el glaucoma primario infantil, las estructuras de drenaje se desarrollan de una manera inadecuada produciéndose así un descenso de la salida del humor acuoso y por consiguiente un aumento de la PIO. En el glaucoma de ángulo cerrado el iris periférico es empujado hacia la malla trabecular, impidiendo que el humor acuoso alcance los canales de salida. En el glaucoma neovascular y en el síndrome endotelio iridocorneal la malla trabecular está cubierta por una membrana. En los glaucomas secundarios la malla trabecular se puede obstruir por diferentes partículas, incluyendo glóbulos rojos o blancos, células tumorales, fragmentos zonulares, partículas pigmentadas o partículas de cristalino. La malla trabecular puede obstruirse además por sustancias como las proteínas del cristalino o el viscoelástico que se utiliza en diferentes cirugías intraoculares.

Como hemos visto, todas las estructuras anatómicas que regulan la PIO se encuentran en el segmento anterior del ojo. Es importante por tanto, conocer la morfometría del segmento anterior por su relación con el ángulo camerular, como veremos

posteriormente en nuestro estudio de correlaciones. Así, es relevante conocer la posición del cristalino y del iris ya que determinan la profundidad de la cámara anterior. La amplitud de la cámara anterior está definida por el punto de inserción del iris en el cuerpo ciliar, el contorno periférico del iris y el tamaño pupilar. Los ojos con una cámara anterior profunda habitualmente tienen ángulos irido-corneales amplios, sin embargo, la abertura angular en los ojos con una cámara anterior poco profunda suelen ser más estrechos.

2. CLASIFICACIÓN DEL ÁNGULO:

La elaboración de una descripción válida de la naturaleza del ángulo de la cámara anterior es importante tanto para el diagnóstico como para el tratamiento de muchas enfermedades oculares, incluidos los diversos tipos de glaucoma.

Con respecto a la abertura angular, se ha descrito clásicamente que cuando el ángulo formado entre el iris y la superficie de la malla trabecular se encuentra entre 20° y 45° , se establece que la cámara anterior de ese ojo es amplia. Los ángulos inferiores a 20° se denominan ángulos estrechos⁶. Cuanto más estrecho es el ángulo, más cercano se encuentra el iris de la malla trabecular, aumentando así las posibilidades de que se produzca un cierre angular. Otra descripción clásica del ángulo, diferente a la anterior, es su división en abierto y cerrado. Un ángulo irido-corneal abierto es aquel en el que el humor acuoso está bañando las estructuras del trabeculum, en cambio un ángulo irido-corneal cerrado es aquel en el que el iris periférico está en contacto con la malla trabecular y por tanto impide la salida del ojo del humor acuoso.³⁶

Para clasificar el ángulo iridocorneal el método más sencillo pero menos cuantitativo es la iluminación del ojo con una linterna. Se utiliza para alumbrar la zona temporal del globo ocular, de tal manera que la luz de la linterna sea paralela al plano del iris, pudiendo así mostrar si la cámara anterior es estrecha o profunda y si el iris está incurvado anteriormente.

INTRODUCCIÓN

En 1966 el oftalmólogo español Antonio Vena propuso una técnica para estimar el grado de abertura angular con una estrecha franja de luz perpendicular al iris a nivel del limbo. Esto se conoce como método de Vena.

En 1969 Van Herick³⁷ presentó otra forma de valorar la profundidad del ángulo, proyectando el haz de luz a 60° en sentido temporal y comparando el grosor corneal con la distancia desde el endotelio hasta el iris (figura 9).



Figura 9: Método de Van Herick.

A pesar de ser una técnica muy extendida para la identificación sistemática del glaucoma de ángulo cerrado, el método de Van Herick (tabla 1) se debe considerar como un indicador y nunca debe reemplazar al examen gonioscópico.

Método de Van Herick	
Grados del ángulo	Profundidad de la cámara periférica: distancia
4	Mayor que el grosor de la córnea
3	De $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ del grosor corneal
2	$\frac{1}{4}$ del grosor corneal
1	Menor que $\frac{1}{4}$ del grosor corneal
0	Nula, peligrosamente estrecho

Tabla 1: Método de Van Herick para clasificar la abertura angular.

SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN:^{9,38,39,40}

Tras realizar un examen gonioscópico es fundamental describir las características del ángulo de una forma clara y sistemática, usando una clasificación que esté ampliamente aceptada. Desde el inicio de la gonioscopia, muchas clasificaciones han sido elaboradas para clasificar la amplitud del ángulo. La gonioscopia fue desarrollada por Trantas en 1800, que mediante un oftalmoscopio directo fue capaz de ver las diferentes estructuras angulares, aunque con cierta distorsión. Salzmann en 1914,

introdujo la idea del uso de lentes de contacto para la observación del ángulo de la cámara anterior, pero fue Koeppe en 1920 quien desarrolló este uso junto a la lámpara de hendidura. El mayor progreso lo realizó Otto-Bakan en 1936, ya que aclaró las diferencias entre glaucoma de ángulo abierto y cerrado. Gradle y Sugar en 1940 midieron la distancia entre la línea de Schwalbe y el plano del iris utilizando la lente de Koeppe. Sin embargo fue ya en 1957 cuando Scheie propuso una clasificación en función de las estructuras que podían ser visualizadas: desde amplio (todas las estructuras angulares), I (todas las estructuras excepto el cuerpo ciliar) hasta el grado IV (en el que no se visualiza ninguna estructura angular). La pigmentación también se evaluaba según una clasificación que iba de 0 (sin pigmento) a IV (muy pigmentada).⁴¹

Los dos sistemas de clasificación más utilizados actualmente son el de Shaffer descrito en 1960 (que es detallada posteriormente en el apartado de gonioscopia) y el de Spaeth³⁹ en 1971.

Shaffer estimó el ángulo en grados de arco, formados por dos líneas que pasan a través de la superficie de la malla trabecular y de la superficie anterior del iris. En la práctica, el ángulo se clasifica de acuerdo a las estructuras angulares visibles, es decir, un mayor grado se corresponde con más estructuras visualizadas, al contrario que la clasificación de Scheie, en la que, a mayor grado, se distinguen menos estructuras angulares.⁴²

Spaeth por su parte propuso un sistema de clasificación (tabla 2) que tuviera en cuenta cuatro características que debían ser tenidas en consideración:

- a) La inserción del iris real y aparente
- b) La aproximación del ángulo a la raíz del iris
- c) La configuración del iris periférico
- d) La pigmentación de la malla trabecular

CLASIFICACIÓN DEL ÁNGULO SEGÚN SPAETH:	
<u>Inserción del iris</u> La inserción del iris indica la posición más anterior en la que el iris está adherido a la córnea o a la úvea como "A" a la línea de Schwalbe. Los corchetes se utilizan para describir la posición más anterior en la que el iris está en contacto pero no adherido a la córnea o a la úvea; así, ["A"] indica que con indentación se puede observar el contacto entre el iris y la córnea pero no la adherencia.	A: anterior a Schwalbe (trabeculum no visible) B: entre Schwalbe y el espolón (espolón no visible) C: Espolón visible D: profundo, con banda ciliar visible E: extremadamente profundo (>1mm de cuerpo ciliar visible)
<u>Amplitud angular</u> El ángulo entre dos líneas tangenciales a la superficie de la malla trabecular y a la superficie del tercio más periférico del iris.	De 0 a 45-50º <20º: ángulo ocluíble
<u>Configuración del iris</u>	f: flat (plano) c: concave p: plateau b: bowing (convexo)
<u>Pigmentación a las 12 horas</u>	0: sin pigmento 1+: mínimo 2+: leve 3+: moderado 4+: intenso

Tabla 2: Clasificación del ángulo según Spaeth.

La inserción del iris es un aspecto importante que incluye ésta clasificación pero que no recogen ni la clasificación de Shaffer ni el sistema de Scheie. Por ejemplo, el iris en el glaucoma neovascular con frecuencia está adherido anteriormente a la línea de Schwalbe, aunque el ángulo pueda ser amplio siendo incluso alrededor de 40º. Este ángulo amplio pero cerrado debe ser clasificado como Shaffer 4, pero estaría clínicamente cerrado. La clasificación de Spaeth recoge además la configuración del iris que es importante para considerar cuándo tratar de determinar si un ángulo es ocluíble, y cuál es el diagnóstico correcto. Por ejemplo, el iris se incurva anteriormente en muchos casos de bloqueo pupilar, y posteriormente en algunas situaciones, como en una luxación de cristalino o en el síndrome de dispersión pigmentario.⁴¹

La indentación, fundamental en la exploración del ángulo, determina si la aposición iridotrabecular ha producido una pigmentación importante sobre la malla trabecular, valorando la presencia de sinequias anteriores periféricas, o evalúa si existe un cierre permanente (cuando no es posible ver ninguna estructura a pesar de la indentación)⁴³.

El ángulo varía según el origen étnico de la persona, así en orientales el iris tiende a insertarse más anterior, y en los europeos más posterior.

Además del tipo de ángulo de la cámara anterior y su probabilidad de progresión a un cierre angular, existen otros factores a considerar a la hora de decidir si tratar un ángulo estrecho mediante una iridotomía periférica con láser⁴⁴, como son la probabilidad de complicaciones asociadas (pico de presión intraocular en glaucomas avanzados, sangrado especialmente en pacientes anticoagulados, actividad inflamatoria, etc), la probabilidad de que el tratamiento no vaya a resultar beneficioso (cristalino de gran tamaño, iris mínimamente arqueado, etc), o la respuesta a la iridotomía en el ojo contralateral.^{45,46,47}

3. IMPORTANCIA DEL ÁNGULO EN LA CLASIFICACIÓN DEL GLAUCOMA.^{48,49,50}

El glaucoma es una de las causas de ceguera más importantes en el mundo^{51,52,53,54,55,56,57,58}, y clásicamente los glaucomas se han clasificado de dos maneras diferentes, una de las cuales es clasificarlos atendiendo a la conformación del ángulo irido-corneal clasificando los glaucomas como de ángulo abierto^{59,60} o ángulo cerrado^{36,61,62,63,64,65}. La otra forma de clasificar los glaucomas es atendiendo a la presencia o no de patología ocular o sistémica que originen el glaucoma en cuyo caso diferenciamos los glaucomas primarios, en los que no encontramos patologías oculares o sistémicas asociadas a la aparición del glaucoma, y los secundarios que se producen a consecuencia de otras enfermedades o situaciones que conducen a la obstrucción de los sistemas de drenaje del humor acuoso o a la hipersecreción de humor acuoso, con la consecuente elevación de la PIO.

La OCT además de la clasificación de los glaucomas, podría ser útil en la evaluación de esta clasificación en la evolución de la enfermedad, valorando cambios objetivos en pacientes con ángulo estrecho como por ejemplo analizar si disminuye la abertura angular debido a un crecimiento del cristalino, si aumenta el contacto iridotrabecular, etc, además de permitir un mejor conocimiento del tratamiento quirúrgico.^{66,67,68,69,70}

A continuación se muestra una clasificación del glaucoma en tres grandes categorías, que serán a su vez subdivididos en primarios o secundarios.⁷¹

I. Glaucoma por cierre angular.^{61,72,73}

I.A Glaucoma por cierre angular primario.

En este tipo de glaucoma existe un contacto irido-trabecular que obstruye el drenaje de humor acuoso que produce un aumento de la PIO, y puede ser subdividido a su vez en agudo, subagudo y crónico. La causa más común de todas las que producen el glaucoma por cierre angular primario es el bloqueo pupilar. En el bloqueo pupilar, el paso de humor acuoso desde la cámara posterior a la cámara anterior a través de la pupila se ve dificultado, dando lugar a que la presión de la cámara posterior sea mayor que la presión en la cámara anterior. Como resultado, el iris periférico, se abomba hacia adelante y contacta con la malla trabecular. Esta obstrucción de la malla trabecular da lugar a un aumento de la PIO. El aumento de la resistencia al paso del humor acuoso a través de la pupila está causado por el contacto de la superficie posterior del iris a la superficie anterior del cristalino. Este mecanismo de bloqueo pupilar pueden precipitarse por la dilatación de la pupila o en situaciones en las que los músculos esfínter y dilatador de la pupila actúen juntos.

I.B Glaucoma por cierre angular secundario.

I.B.1 Glaucomas por cierre angular secundario con bloqueo pupilar.

El bloqueo pupilar empuja hacia adelante el iris hasta ocluir el ángulo. Existen diferentes etiologías que pueden causar este tipo de glaucoma:

- ❖ Engrosamiento del cristalino (Catarata, catarata traumática).

- ❖ Luxación anterior del cristalino (trauma, laxitud zonular, Síndrome de Marfan, etc).
- ❖ Sinequias posteriores, seclusión u oclusión de la pupila.⁷⁴
- ❖ Protrusión de la superficie vítrea o de aceite de silicona intravítreo en afaquia.
- ❖ Microesferofaquia.
- ❖ Bloqueo pupilar inducido por fármacos mióticos (cristalino se desplaza hacia adelante) o por una lente intraocular (lente de cámara anterior o de cámara posterior desplazada hacia adelante).

I.B.2 Glaucoma por cierre angular secundario con mecanismo de "tracción" anterior, sin bloqueo pupilar.

La malla trabecular se obstruye por tejido iridiano o por una membrana. Este iris y/o membrana son traccionados progresivamente hacia adelante hasta ocluir el ángulo.

Existen diferentes etiologías que pueden causar este tipo de glaucoma:

- ❖ Glaucoma neovascular donde se produce una membrana inflamatoria fibrovascular iridotrabecular.
- ❖ Síndrome iridocorneoendotelial (ICE)
- ❖ Goniosinequias.
- ❖ Crecimiento epitelial y fibroso tras cirugía de segmento anterior o trauma penetrante.
- ❖ Membrana inflamatoria, aniridia, distrofia polimorfa posterior.
- ❖ Tras trabeculoplastia láser Argón (ALT)

I.B.3 Glaucoma por cierre angular secundario con mecanismo de "empuje" posterior, sin bloqueo pupilar.

Existen diferentes tipos de glaucoma que comparten esta entidad clínica:

- ❖ Glaucoma por dirección de humor acuoso inadecuada (bloqueo ciliar o maligno).
- ❖ Quistes de iris y cuerpo ciliar, tumores intraoculares.

- ❖ Desprendimiento coroideo.
- ❖ Retinopatía de la prematuridad (estadio V).
- ❖ Aceites de silicona o gas implantados en la cámara vítrea.
- ❖ Anomalías congénitas⁷⁵ que pueden asociarse a glaucoma secundario, como hipoplasia familiar de iris, casos anómalos en la superficie del iris, Aniridia, Síndrome de Sturge-Weber, Síndrome de Pierre-Robin, etc.

II. Glaucoma de ángulo abierto.⁷⁶

II.A Glaucoma primario de ángulo abierto.

Los glaucomas de ángulo abierto son neuropatías ópticas crónicas progresivas, que tienen en común presentar cambios morfológicos característicos de la papila y de la capa de fibras nerviosas retinianas, en ausencia de otra enfermedad ocular, o anomalía congénita.

Existen diferentes tipos de GPAA:

II.A.1 Glaucoma juvenil primario. Inicio entre los 10 y 35 años.

II.A.2 Glaucoma primario de ángulo abierto con PIO elevada. Inicio a partir de los 35 años de edad con una PIO mayor de 21 mmHg sin tratamiento.

II.A.3 Glaucoma primario de ángulo abierto con PIO normal. Inicio a partir de los 35 años con PIO máxima menor de 22 mmHg sin tratamiento.

II.A.4 Hipertensión ocular. Esta entidad clínica no es ningún tipo de glaucoma, ya que no presenta alteraciones morfológicas de la papila del nervio óptico ni alteraciones funcionales en el campo visual, sin embargo se incluye en esta clasificación por su predisposición a presentarse como un GPAA con el paso del tiempo. Presenta una PIO por encima de 21 mmHg sin tratamiento.

II.B Glaucomas secundarios de ángulo abierto.

En este tipo de glaucomas la PIO elevada es causada por enfermedades oftalmológicas o extraoculares, fármacos o tratamientos que provocan una neuropatía óptica glaucomatosa con una pérdida progresiva típica del campo visual. En los glaucomas secundarios de ángulo abierto el ángulo de la cámara anterior debe estar abierto en más de 270°. La siguiente clasificación se basa principalmente en los mecanismos fisiopatológicos:

II.B.1 Glaucomas secundarios de ángulo abierto causados por enfermedades oftalmológicas.

- ❖ Glaucoma pseudoexfoliativo, glaucoma pigmentario.
- ❖ Glaucoma secundario de ángulo abierto inducido por cristalino. Dentro de esta entidad podemos diferenciar el glaucoma facolítico, el glaucoma por partículas de cristalino y el glaucoma facoanafiláctico.
- ❖ Glaucoma uveítico, glaucoma secundario a tumores intraoculares, glaucoma asociado a desprendimiento de retina, glaucoma de ángulo abierto debido a trauma intraocular.
- ❖ Glaucoma asociado a hemorragia intraocular.

II.B.2 Glaucomas secundarios de ángulo abierto iatrogénicos.

- ❖ Glaucoma debido a tratamiento esteroideo.
- ❖ Glaucoma secundario de ángulo abierto debido a láser y cirugías oculares.

II.B.3 Glaucoma secundario abierto causado por enfermedades extrabulbares.

- ❖ Glaucoma causado por aumento de la presión venosa episcleral.

III. Glaucoma por anomalías del desarrollo.

III.1 Glaucoma congénito primario.

Glaucoma debido a la presencia de una disgenesia del ángulo irido-corneal y en el que se encuentra un flujo de salida de humor acuoso disminuido. Se presenta habitualmente desde el nacimiento al segundo año de vida.

III.2 Glaucoma infantil primario.

Glaucoma que se presenta desde el tercer al décimo año de vida y que se produce debido a una disgenesia del ángulo irido-corneal.

4. MÉTODOS DIAGNÓSTICOS DEL ÁNGULO:

➤ 4.1 GONIOSCOPIA

Desde un punto de vista clínico, la exploración clásica y fundamental para la valoración del ángulo ha sido la gonioscopia^{9,39}, cuyo origen se remonta 2 siglos atrás.

La gonioscopia es un examen biomicroscópico que permite la visualización directa del ángulo irido-corneal, y que es muy útil para valorar tanto el aspecto del mismo como para conocer la abertura angular.^{41,77,78}

Tiene gran relevancia a la hora de clasificar los ángulos y por tanto, los glaucomas en sus dos grandes grupos, como son el glaucoma de ángulo abierto y el glaucoma de ángulo cerrado.

Principios ópticos y técnicas:

El ángulo de la cámara anterior no puede visualizarse directamente a través de la córnea intacta porque la luz de las estructuras del ángulo sufren una reflexión interna total en la superficie anterior de la película lagrimal precorneal. Debido a que el índice refractivo de una goniolente es similar al de la córnea, elimina toda la reflexión interna al sustituir la interfase película lagrimal-aire por una nueva interfase película lagrimal-goniolente. Entonces puede verse como salen los rayos de luz de la lente de contacto.⁴¹

Existen diferentes técnicas para la realización de la gonioscopia:

- **Gonioscopia indirecta:** Mediante lentes como la de Goldmann y Zeiss que presentan espejos angulados se permite la observación y estudio del ángulo irido-corneal (figura 10). Utilizan un espejo para reflejar los haces desde el ángulo, de forma que salen de la lente a un ángulo menor que el crítico. Ofrecen una imagen especular del ángulo opuesto y pueden utilizarse solo con una lámpara de hendidura.

La exploración se debe realizar en una sala con poca luz ambiente, reduciendo el tamaño y el haz de luz de la lámpara de hendidura al mínimo posible compatible con



una visión adecuada, evitando que el haz sea dirigido a través de la pupila. Se instila una gota de anestésico doble, y se pone metilcelulosa sobre la superficie de la lente, apoyando la superficie de la lente sobre la córnea del paciente.

Figura 10: Lente de gonioscopia de 4 espejos.

- **Gonioscopia de indentación:** mediante la variación deliberada de la presión aplicada sobre la córnea con una lente de contacto indirecta, el observador aprecia los efectos de esta presión en la amplitud del ángulo.

La superficie de contacto de las lentes tiene una curvatura más plana que la de la córnea, anulando la necesidad de una sustancia de acoplamiento.

Un aumento de presión desplaza la córnea central y hace que el humor acuoso se mueva hacia el ángulo, empujando posteriormente el iris periférico.

Si el ángulo se cierra solo por aposición entre el iris y la córnea, se abrirá, permitiendo la visualización del receso angular. Si el ángulo está cerrado por adherencias entre el iris periférico y la córnea (sinequias anteriores periféricas), seguirá cerrado.

La gonioscopia dinámica puede ser muy valiosa para ayudar a definir las estructuras en ángulos difíciles de evaluar, como distinguir entre una línea de Schwalbe extensa o doble pigmentada y la malla trabecular pigmentada.

- **Gonioscopia directa:** Ésta se lleva a cabo con una lente de Koeppe o las lentes quirúrgicas como la de Barkan o de Swan-Jacob, con la cual se examina el ángulo mediante visualización directa. Éste método se llama directo porque los rayos de luz del ángulo se ven directamente, sin reflexión dentro de la lente. Para llevar a cabo este tipo de gonioscopia el paciente debe estar en posición decúbito supino. Su utilización principal es el tratamiento quirúrgico del glaucoma congénito.

Identificación gonioscópica de las estructuras del ángulo: ^{9,39,40,41,77}

- **Línea de Schwalbe:** es la estructura más anterior y presenta un aspecto de una línea opaca irregular. Anatómicamente delimita la terminación periférica de la membrana de Descemet y el límite anterior del trabeculum. Raramente puede distinguirse, especialmente en pacientes más jóvenes. En ocasiones, puede presentar depósitos de pigmento (línea de Sampaolesi) que pueden dificultar la interpretación de las estructuras del ángulo.
- **Malla trabecular:** se extiende desde la línea de Schwalbe hasta el espolón escleral. La parte anterior no funcional es adyacente a la línea de Schwalbe y de color blanquecino. La parte posterior, funcional y pigmentada (porción de filtración) es adyacente al espolón escleral (figura 11) y tiene un aspecto translúcido azul-grisáceo en los jóvenes.
- **Canal de Schlemm:** puede identificarse en el ángulo no pigmentado como una línea ligeramente más oscura, profunda al trabéculo posterior.
- **Espolón escleral:** Es la proyección más anterior de la esclerótica y el punto de inserción del músculo ciliar. Gonioscópicamente está situado inmediatamente posterior a la malla trabecular, y tiene el aspecto de una banda estrecha, densa, a menudo brillante y blanquecina.
- **Cuerpo ciliar:** Está justo detrás del espolón escleral como una banda de color rosa, marrón o gris. Su anchura depende de la posición de la inserción del iris y tiende a ser más estrecho en ojos hipermétropes y más ancho en ojos miopes. El receso angular representa la excavación posterior del iris en su inserción en el cuerpo ciliar.

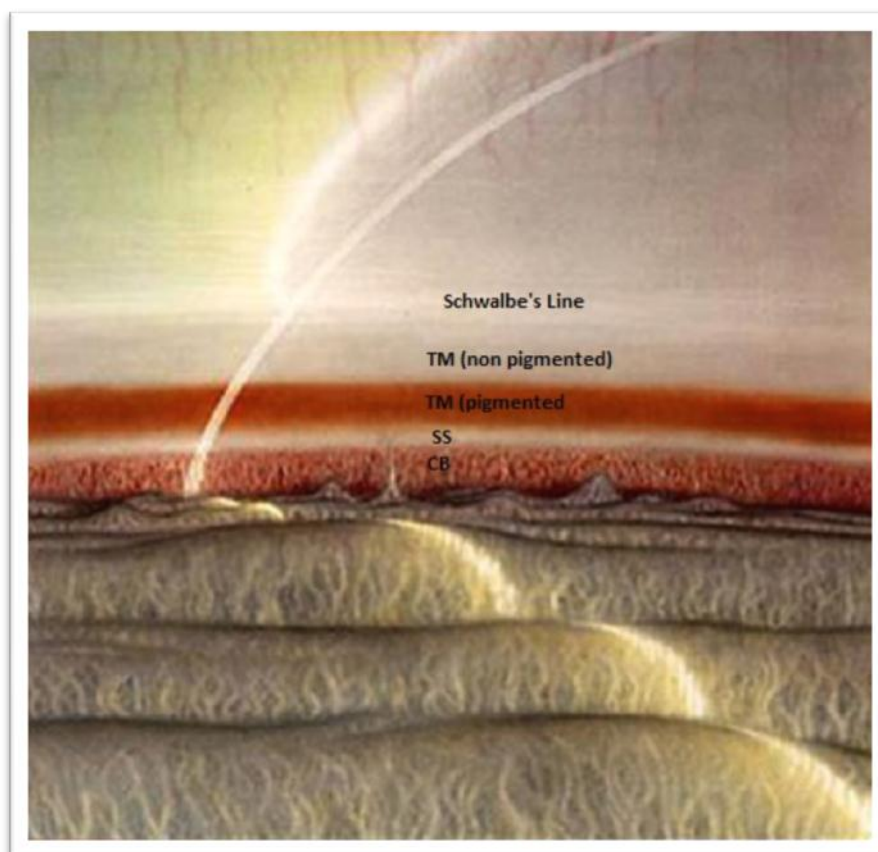


Figura 11: Esquema de las estructuras angulares visibles mediante gonioscopia.

Otros hallazgos gonioscópicos en el ángulo: ^{41,77}

Además de la amplitud angular, mediante la gonioscopia se pueden estudiar y valorar diferentes características y aspectos del ángulo que son imperceptibles mediante otras técnicas que valoran el mismo, como son la BMU o la OCT-SA, que pueden proporcionar información acerca de la configuración del mismo, pero no permiten determinar ciertos aspectos tales como la cantidad y naturaleza de la pigmentación, la presencia de material exfoliativo o sangre, y aspectos cualitativos similares del ángulo de la cámara anterior.

- **Pigmento:**

El pigmento está presente en mayor o menor medida en el ángulo cameralar. De manera fisiológica existe una coloración de la banda ciliar que varía según cada persona. A lo largo de la vida se va liberando pigmento desde el epitelio

pigmentario del iris y del cuerpo ciliar. Las corrientes del humor acuoso y la gravedad hacen que se acumule, especialmente en el cuadrante inferior del ángulo, desde la banda ciliar hasta la línea de Schwalbe, llegando a depositarse por delante de ésta. La pigmentación suele ser más marcada en la banda ciliar y en el trabeculum. En ocasiones puede ser difícil diferenciar una pigmentación patológica de una que no lo es, por lo que siempre se recomienda realizar la exploración bilateral de forma sistemática.

El pigmento puede acumularse de maneras muy diferentes, como un fino granulado o formando gruesos grumos, en zonas localizadas o de forma aparentemente aleatoria, por lo que en ocasiones resulta complicado diferenciar condiciones patológicas.

Determinadas circunstancias como traumatismos, cirugías oculares o uveítis pueden originar una liberación de pigmento más o menos importante que modificará la visión gonioscópica, aunque los dos cuadros patológicos que típicamente tienen un patrón en la distribución del pigmento son el síndrome pseudoexfoliativo y el síndrome de dispersión pigmentaria.

- **Procesos iridianos:**

En ocasiones se pueden encontrar prolongaciones del iris que cruzan en mayor o menor medida el ángulo iridocorneal. Son los procesos iridianos, prolongaciones uveales que alcanzan el ángulo, generalmente hasta el espolón escleral, pero que en ocasiones llegan a la línea de Schwalbe. Pueden ser escasos y aislados, pero también pueden ocupar una región más extensa. En general no tienen un significado patológico, aunque aparecen en algunas disgenesias, como el síndrome de Axenfeld-Rieger. Son frecuentes además en el síndrome de dispersión pigmentaria.

Se deben diferenciar de las sinequias anteriores, que son adherencias del iris a la parte más anterior del ángulo o incluso a la córnea periférica. Si se observa con detenimiento, las sinequias nacen del propio estroma iridiano y recorren directamente este trayecto saltándose el valle iridiano característico.

- **Sangre:**

La presencia de sangre en el canal de Schlemm es un signo que puede ser patológico. En ocasiones se debe a una excesiva manipulación y presión del globo ocular durante la exploración gonioscópica, pero también puede aparecer cuando existe un aumento de la presión venosa episcleral, como ocurre en la fístula carótida-cavernosa, en las compresiones venosas orbitarias secundarias, por ejemplo, a tumores o a la oftalmopatía tiroidea.

En la exploración gonioscópica destaca la tonalidad rojiza a nivel del trabeculum, que es debida al contenido hemático del canal de Schlemm.

En casos de duda es útil comparar ambos ojos, ya que la mayoría de las patologías que aumentan la presión venosa episcleral son unilaterales.

- **Vasos:**

Es posible encontrar en condiciones normales vasos radiales del iris y porciones del círculo arterial mayor del iris, especialmente en iris claros. Menos frecuente es encontrar vasos radiales del cuerpo ciliar. Estos vasos no tienen significación patológica, suelen ser escasos y no llegan más allá del espolón escleral. Por el contrario, los neovasos suelen ser múltiples y con una disposición más anárquica.

Clasificación gonioscópica del ángulo.

La amplitud del ángulo se puede clasificar de varias maneras. La clasificación más utilizada es la creada por Shaffer⁹ en 1960, la cual se basa en la visualización de las estructuras angulares como medida indirecta de la amplitud angular. Una vez que la lente se encuentra posicionada sobre el ojo analizamos las estructuras visibles en el ángulo irido-corneal, y dependiendo de las estructuras que podamos visualizar podemos definir la amplitud angular (tabla 3 y figura 12).

La estructura guía del ángulo en la gonioscopia es el espolón escleral, que es la estructura que intentamos identificar. Anteriormente al espolón escleral encontramos la malla trabecular y posteriormente la banda ciliar.

- Si podemos visualizar la totalidad de las estructuras angulares hasta la banda ciliar, estamos ante un ángulo muy amplio (grado 4). Es el ángulo más ancho, característico de la miopía y de la afaquia.
- Si la estructura más extrema que se puede distinguir es el espolón, pues el iris periférico oculta a la banda ciliar, estamos ante un ángulo de amplitud de grado 3. Tanto el grado 3 como el grado 4 son ángulos muy amplios, en los que en principio el cierre angular no es posible.
- Si tan sólo podemos visualizar la malla trabecular, y no llegamos a ver el espolón, nos encontramos ante un ángulo de grado 2.
- Si la única estructura que podemos ver es la línea de Schwalbe estamos ante un ángulo de grado 1.
- Si no podemos visualizar ninguna de las estructuras angulares estamos ante un ángulo con amplitud de grado cero. En este caso existe contacto entre el iris periférico y la malla trabecular, de tal manera que el humor acuoso no puede salir del interior del ojo por la vía convencional.

GRADO	ÁNGULO	ESTRUCTURA VISIBLE	DESCRIPCIÓN DEL ÁNGULO	RIESGO
0	0º	Ninguna	Cerrado	Inminente
1	10º	Línea de Schwalbe	Muy estrecho	Probable
2	20º	Trabeculum	Estrecho	Probable
3	20-35º	Espolón escleral	Abierto	Imposible
4	35-45º	Cuerpo ciliar	Abierto	Imposible

Tabla 3: Clasificación de Shaffer del ángulo iridocorneal.

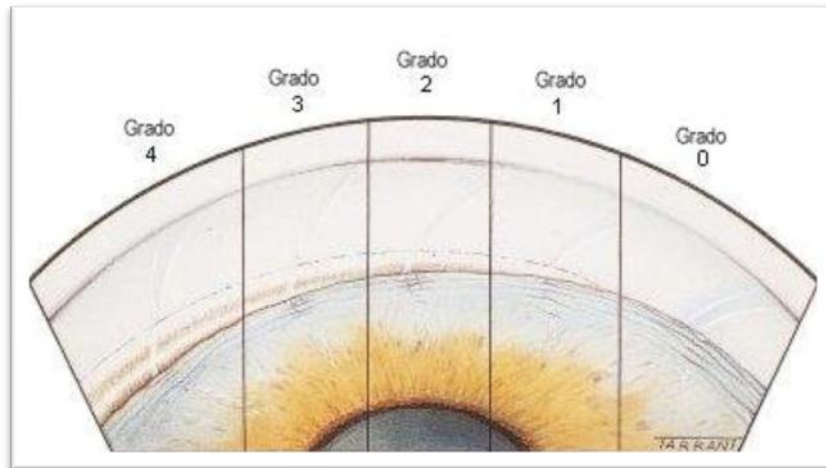


Figura 12: Clasificación de Shaffer del ángulo iridocorneal.

La gonioscopia presenta ciertos inconvenientes como es su subjetividad, que la hace muy dependiente del explorador y la consiguiente baja reproducibilidad y además requiere habilidad por parte del examinador y colaboración por parte del paciente ya que requiere contacto y es una técnica incómoda para el mismo.

En la siguiente imagen podemos observar la correspondencia entre la imagen gonioscópica y la histológica (figura 13).

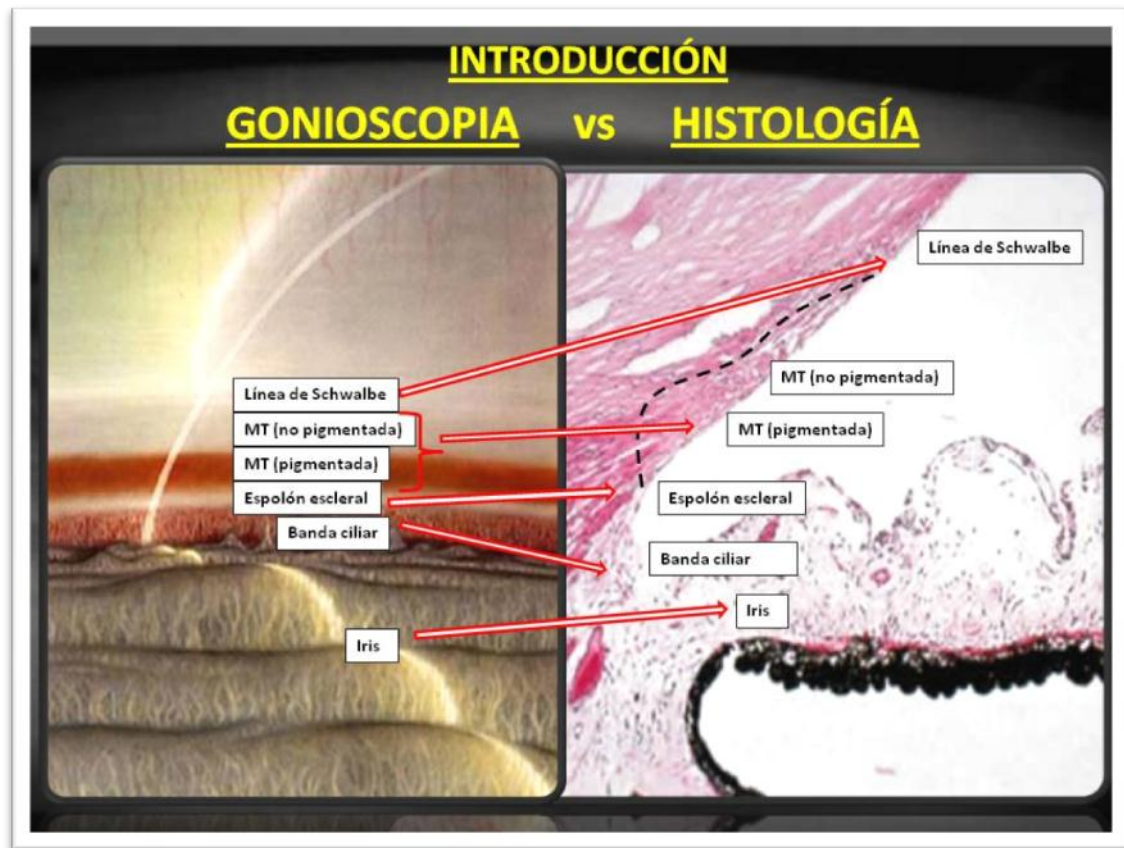


Figura 13: Esquema que muestra la concordancia de las principales estructuras angulares entre la imagen gonioscópica y la histológica.

➤ 4.2 BIOMICROSCOPIA ULTRASÓNICA (BMU)

A principios de la década de 1990, Pavlin desarrolló el primer instrumento basado en la biomicroscopía ultrasónica para uso oftalmológico^{79,80,81}. Es una técnica ecográfica que utiliza transductores de ultrasonidos de alta frecuencia (50-100 MHz) para obtener imágenes del segmento anterior. La necesidad de obtener diferentes medidas del segmento anterior y especialmente de la cámara posterior, impulsó el desarrollo de instrumentos capaces de hacerlo. Los primeros instrumentos que permitían realizar estas medidas fueron los biomicroscópicos ultrasónicos.

Como cualquier otra técnica ecográfica se basa en la emisión de un haz ultrasónico que al atravesar las diferentes estructuras oculares, se refleja en parte hacia la fuente

emisora. Estas ondas reflejadas son los ecos, y transportan información interna de los tejidos atravesados.

La BMU es una ecografía en modo B, por lo que se obtienen imágenes bidimensionales de los tejidos. La resolución de cualquier ecógrafo depende de la frecuencia del



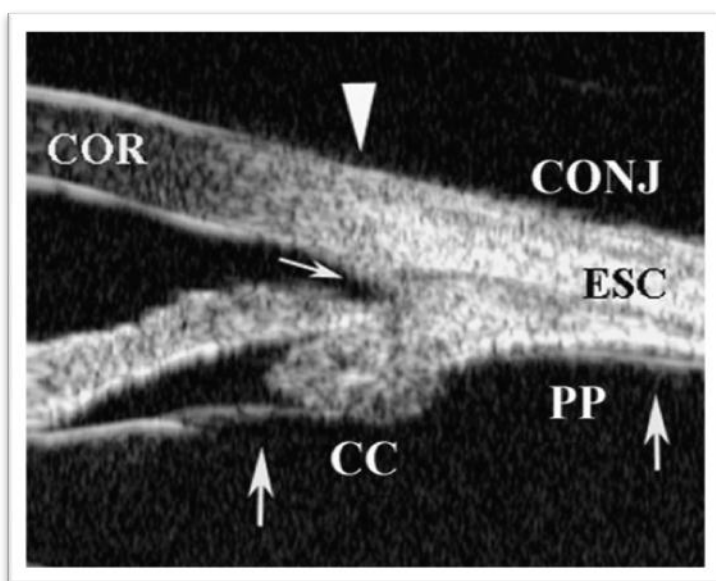
transductor empleado, así cuanto mayor es la frecuencia del transductor mayor es la resolución y peor la penetración.

Figura 14: Dispositivo de biomicroscopia ultrasónica.

De esta manera si en la BMU se emplean transductores con una frecuencia entre 50 a 100 MHz, la resolución oscilará entre 30 y 50 micras.

Una limitación de la técnica es que para obtener una adecuada calidad de imagen, se debe hacer incidir perpendicularmente el haz de ultrasonidos a la superficie de la córnea o del área de interés.

Características ultrasónicas de las estructuras más importantes del segmento anterior:⁸²



En la BMU la región del ángulo iridocorneal y el espolón escleral son referencias fundamentales. Mediante ésta técnica es fácilmente distinguible el espolón escleral, ya que se observa como un ligero abombamiento de la esclera hacia la cámara anterior y es hiperreflectivo.

Figura 15: Imagen de BMU del ángulo camerular (Extraída de García Feijóo⁸²).

La transición esclero-corneal aparece como una zona de cambio gradual de la reflectividad desde la esclera (hiperecogénica) hasta la córnea (hipoecogénica). La línea de Schwalbe no es visible en condiciones normales. La superficie iridiana y corneal se identifican muy bien debido al cambio de ecogenicidad entre los medios sólidos y líquidos. El estroma posee una reflectividad media lo que permite distinguirlo fácilmente del epitelio hiperecogénico (figura 15).

Además se pueden identificar el cuerpo ciliar (reflectividad media similar al estroma iridiano), zónula (se aprecian finas bandas de reflectividad media que se visualizan desde su origen hasta su inserción en el cristalino), el sulcus y la cámara posterior (hiporreflectivas por su contenido en humor acuoso), la retina periférica (línea de reflectividad alta, la úvea es hipoecogénica).

Diferentes elementos pueden bloquear completamente el paso de los ultrasonidos, como el aire, los gases o la silicona.

Medida de la abertura del ángulo irido corneal.

Pavlin^{79,80,81} es el primer autor que sugiere la medida de la abertura del ángulo iridocorneal. Además de la medición basada en el trazo de dos líneas con origen en la raíz del iris, una de las cuales se continua sobre la superficie del iris, y la otra sobre la

M.T y el endotelio corneal, propone la medida de un nuevo parámetro, el AOD o distancia de abertura angular.

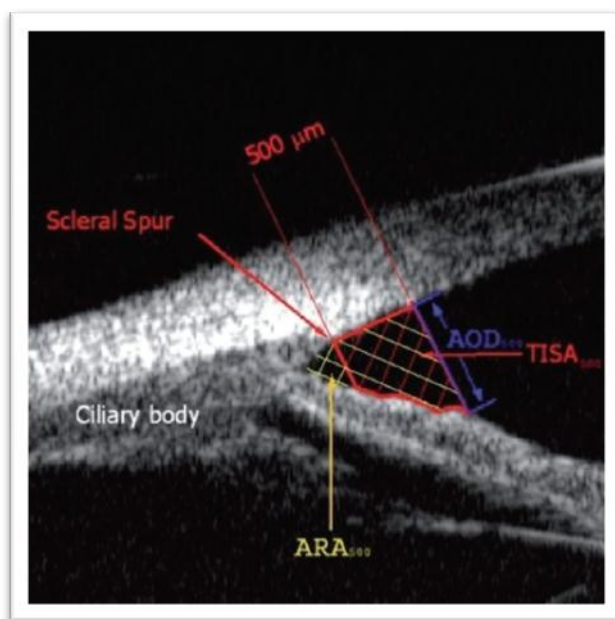


Figura 16: Medida del AOD y TISA mediante BMU (Extraído de Pavlin⁸¹).

La distancia de abertura angular se define como la distancia en micras entre un punto situado 500 o 750 micras anterior al espolón escleral

y el iris. Se obtiene trazando una línea perpendicular desde dicho punto hasta la superficie del iris (figura 16).

Se pueden realizar otras medidas, como la distancia entre el trabeculum y los procesos ciliares, y la distancia entre el iris y los procesos ciliares, que es la medida del sulcus⁸².

Es interesante la medida de la configuración iridiana, ya que para determinar la concavidad o convexidad del iris se puede emplear una línea trazada entre el epitelio pigmentario de la raíz del iris y el punto visible del epitelio pigmentario iridiano más extremo. Si desde ésta línea se traza una perpendicular hasta el punto de máxima concavidad o convexidad obtendremos una medida. Por convención se dan valores negativos cuando la disposición del iris es cóncava y positivos si es convexa.

La BMU es una técnica reproducible⁸³ que proporciona información sobre la configuración del ángulo de la cámara anterior y debido a la mayor penetrancia respecto a la OCT, permite capturar imágenes detalladas y estudiar las estructuras retroiridianas como el cuerpo ciliar y la cámara posterior. Pese a la información que ofrece la BMU, las imágenes obtenidas presentan una menor resolución que la OCT, y además es una técnica invasiva que requiere que el paciente se coloque en posición supina y la sonda debe permanecer sumergida en un medio líquido en contacto con la superficie ocular.

Debido a su elevado coste, la incomodidad para el paciente, y la necesidad de un examinador experimentado, no es usada en la práctica clínica diaria.

Utilidad de la Biomicroscopía ultrasónica:^{84,85,86,87,88,89}

Es útil para el estudio de diferentes patologías, como son:

- Glaucomas de ángulo cerrado y hallazgos relacionados⁹⁰, como son el bloqueo pupilar^{91,92}, el iris plateau o en meseta^{93,94}, el cierre angular quístico, las sinequias⁹⁵ o la evaluación de iridotomías^{96,97,98,99,100}.
- Evaluación de cirugías del glaucoma.
- Diagnóstico diferencial de tumores ciliares, angulares o iridianos, pudiendo medirlos con precisión, y conociendo su extensión posterior y sus características internas.
- Estudio de la posición de las lentes fáquicas en el sulcus¹⁰¹, medidas de la cámara anterior o estudios pre y postoperatorios en casos como por ejemplo de opacidades corneales.¹⁰²
- Evaluación del ángulo tras traumatismos: ya que puede ser realizada sin riesgo tras un traumatismo y permite una evaluación precoz del mismo para valorar la existencia de una recesión angular, ciclodíálisis, luxaciones o subluxaciones del cristalino, desprendimientos coroides, etc.

Pese a la competencia de otras técnicas no invasivas la BMU todavía es insuperable en el estudio de la cámara posterior y de la estructura interna de la región angular y del cuerpo ciliar.

➤ 4.3 SPAC (Analizador mediante escáner de la profundidad de la cámara anterior periférica).^{103,104,105,106,107,108}



Este aparato consiste en una cámara y un ordenador conectados a una lámpara de hendidura. Funciona según la técnica de Van Herick¹⁰⁹, proyectando un estrecho haz de luz hacia la cámara anterior periférica, inclinado 60º, de manera que corta perpendicularmente la superficie ocular. En este punto, se puede estimar la profundidad de la cámara anterior periférica comparando el espesor corneal con distancia entre el iris y la córnea, y a partir de ésta, la apertura angular. Al igual que la OCT-SA es una técnica rápida, sencilla y que no requiere contacto con el globo ocular (Figura 17).

Figura 17: Dispositivo SPAC.

Presenta importantes desventajas respecto a la OCT-SA:

- Sólo mide el cuadrante temporal y no puede estudiar el eje vertical
- Utiliza un haz de luz visible que puede inducir miosis y alterar la anatomía angular. No puede utilizarse si existe opacidad limbar.
- No toma imágenes directas del ángulo, por lo que no da una información tan detallada como la OCT-SA.

Aún así, es un aparato con un coste significativamente menor que la OCT-SA y podría utilizarse como prueba de despistaje en zonas con pocos recursos y alta prevalencia de cierre angular.

➤ 4.4 PENTACAM.^{110,111,112}

Es el principal representante de los dispositivos basados en el principio de Scheimpflug¹¹³. El Oculus Pentacam® es un instrumento de medida que mediante una cámara rotatoria permite obtener imágenes del segmento anterior y del ángulo camerular. Utiliza una cámara de Scheimpflug y una hendidura con luz monocromática, un LED azul libre de radiación ultravioleta, con una longitud de onda de 475nm. Posee una cámara rotacional que capta 50 imágenes meridionales en menos de 2 segundos, evaluando 500 puntos de medida para cada una de las imágenes de la hendidura pudiendo generar imágenes en 3D.

Está formado por dos cámaras, una en el centro para controlar la fijación y poder corregir de forma automática los movimiento oculares, y otra montada sobre una rueda que al girar captura las imágenes. Presenta la ventaja de que nos permite estudiar el punto de menor espesor en relación con el centro geométrico de la córnea, que es el punto de referencia, y el punto de máxima elevación de la cara anterior y posterior de la córnea. Otra de sus principales ventajas es que no contacta con el ojo.

El Pentacam gracias a las cámaras de Scheimpflug actúa como un tomógrafo de alta resolución que permite reconstruir un modelo virtual tridimensional de las estructuras ópticamente visibles y siempre que no haya ninguna estructura opaca en el segmento anterior.

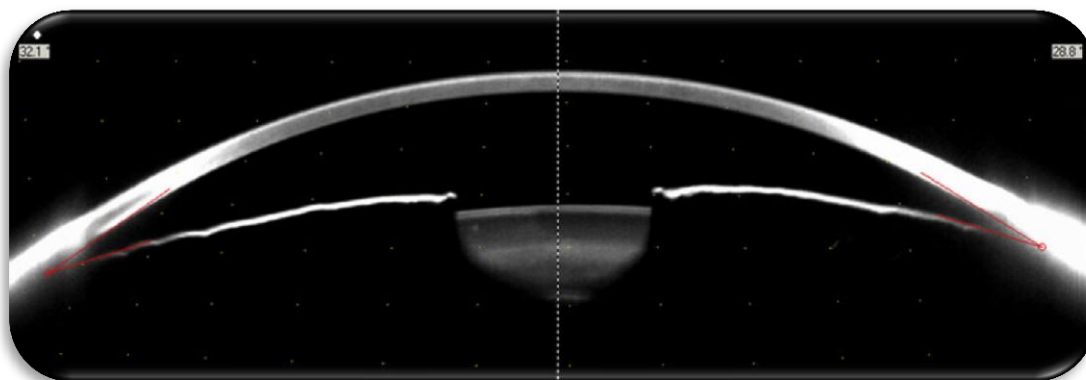


Figura 18: Imagen de la cámara anterior del globo ocular obtenida mediante exploración con Pentacam.

Con el Pentacam, se han publicado múltiples estudios sobre la reproducibilidad de sus medidas, fundamentalmente en cuanto a la paquimetría y la curvatura corneal^{114,115,116,117}. Sin embargo, los estudios sobre el ángulo de la cámara anterior ofrecen resultados muy variables.

También permite el estudio de la cámara anterior central¹¹⁸ y del cristalino anterior, y de la parte central de la cámara posterior, especialmente tras dilatación pupilar. Sin embargo, sus características técnicas impiden obtener imágenes suficientes de la región angular. Además no pueden definir los límites de la cámara posterior ni obtener información de las estructuras situadas detrás de la raíz del iris, ni de la esclera y el cuerpo ciliar.

➤ 4.5 TOMOGRAFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA DE SEGMENTO ANTERIOR (OCT-SA).

4.5.1 PRINCIPIOS DE LA OCT – SA.

El primer autor que describió el principio de la tomografía de coherencia óptica fue Huang en el año 1991¹¹⁹, para obtener imágenes transversales de tejidos biológicos. En 1994 Izatt y cols.¹²⁰ capturaron la primera imagen del segmento anterior de un ojo mediante OCT.

La tomografía de coherencia óptica es una tecnología que nos permite adquirir imágenes de cortes transversales micrométricos mediante la luz sobre el tejido a estudiar. La OCT es una técnica análoga al ultrasonido B, la diferencia entre las dos es que el OCT utiliza una onda de luz y el ultrasonido emplea una onda acústica, y esto hace que el OCT permita obtener una resolución de las imágenes 10 veces superior a las ecográficas. La OCT es especialmente útil en oftalmología, dada la facilidad con que la luz alcanza las estructuras oculares en el segmento anterior y posterior. Otra ventaja es que la luz incide de forma directa sobre el tejido, sin la necesidad de utilizar un

INTRODUCCIÓN

transductor. Permite estudiar cortes del tejido in vivo permitiendo analizar las diferentes estructuras oculares como la retina (incluyendo la papila óptica y la capa de fibras nerviosas de la retina), el vítreo y la coroides, y las estructuras que forman parte del segmento anterior del globo ocular. El uso de la OCT en oftalmología comenzó a utilizarse en el diagnóstico y seguimiento de patologías maculares y del glaucoma.

La OCT-SA fue descrita por Izatt, y la mayoría de los trabajos se centraron en la córnea y no en el ángulo camerular^{120,121,122}. Una modificación de la OCT-SA utilizando una longitud de onda de 1.300 nm fue descrita por primera vez por Hoerauf y cols¹²³ en ojos de cerdo enucleados y por Wirbelauer y cols¹²⁴ en humanos. Estos primeros prototipos, permitían una mejor penetración en los tejidos, pero eran muy lentos, ya que requerían entre 1 y 2 segundos para captar una imagen, lo que generaba numerosos artefactos sobre las mismas (figura 19). Radhakrishnan y cols. fueron los primeros que desarrollaron una OCT de 1300 nm pero que captaba 4000 A scans/seg.¹²⁵

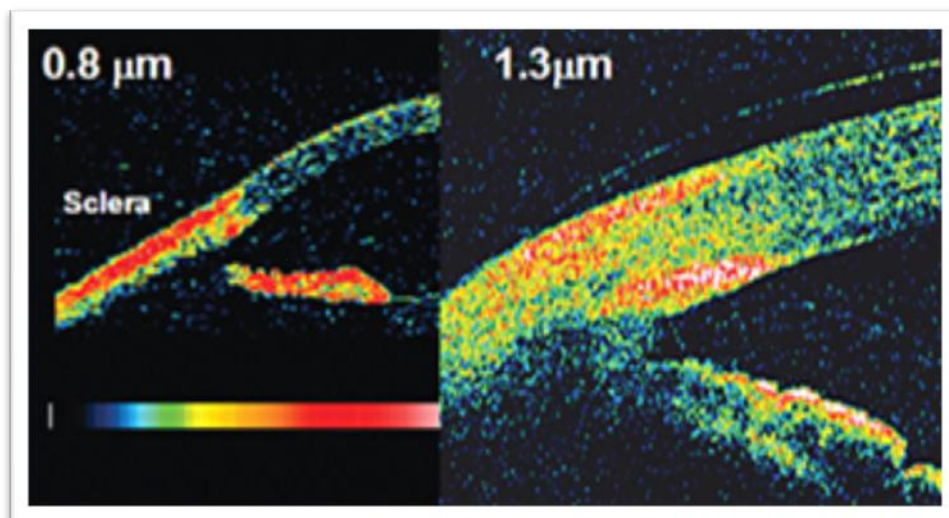


Figura 19: La visualización de detalles anatómicos de la cámara anterior es mejor con longitudes de onda de 1.300nm (imagen derecha) comparado con 840 nm (imagen izquierda) debido a su mayor penetración en los tejidos. (Extraído de Ophthalmol Clin North Am, 18, Radhakrishnan S, Huang D, Smith SD, Optical coherence tomography imaging of the anterior chamber angle, 375-381, 2005).

Para la exploración retiniana se utiliza un haz de luz con una longitud de onda de 840 nm, mientras que la OCT-SA es más frecuente utilizar una longitud de onda mayor, de 1.310 nm, que reduce la dispersión de la luz en la esclera y el limbo, incrementando la penetración a través de los mismos y mejorando la visualización de la córnea, el iris, el ángulo esclerocorneal y la zona anterior del cristalino. Sin embargo, la OCT-SA no puede atravesar el pigmento de la cara posterior del iris, por lo que no permite la visualización de estructuras posteriores al iris, como el cuerpo ciliar.

Debido a la reciente aparición de la OCT de segmento anterior¹²⁶, podemos analizar y estudiar el ángulo iridocorneal o camerular desde un nuevo punto de vista^{127,128,129,130,131}, ya que es una técnica que supera, por presentar una resolución muy superior, a las imágenes obtenidas con la BMU y el Pentacam.⁴

¿Cómo se generan las imágenes de OCT y propiedades ópticas de los tejidos?^{126,132,133,134,135,136}

La OCT se basa en el principio de interferometría de baja coherencia y la capacidad de diferenciar las diferentes estructuras en función de su reflectividad y el diferente tiempo de retraso. Cada tejido tiene unas propiedades particulares que definen su reflectividad, y la OCT tiene la capacidad de medirlas y representarlas mediante una escala de colores o de grises. La interferencia de los dos haces reflejados es procesada por un interferómetro y la distancia de las estructuras se mide por el tiempo de retraso de la luz reflejada y la intensidad de la señal, dependiente de las propiedades ópticas del tejido, que se transforma en una escala logarítmica de colores. Según el principio de Huygens, una onda que se propaga en el espacio está formada por un frente de onda que al avanzar puede originar otro nuevo frente de onda en cualquier punto de su interior produciéndose así una nueva perturbación. A esta superposición de ondas se le denomina interferencia. Los interferómetros son instrumentos utilizados para medir la longitud de onda de un haz de luz monocromático. Lo hacen retrasando mediante espejos una parte del haz, aumentando su camino recorrido, una distancia conocida y al unirse de nuevo con la otra parte del haz, genera interferencias que producen patrones característicos en una pantalla de proyección.

INTRODUCCIÓN

La interferometría está basada en un principio análogo al de la ultrasonografía, pero la velocidad de la luz es casi un millón de veces mayor que la del sonido, siendo esta diferencia la que permite medir estructuras y distancias en la escala de hasta 10 micras.

La OCT se basa en la emisión de un haz de luz de entre 820 y 850 nm que se dirige a un espejo que divide la luz en dos haces diferentes; uno de estos es dirigido hacia otro espejo que se encuentra a una distancia conocida, es lo que denomina espejo de referencia y el otro se dirige hacia el ojo, el cual se reflejará de vuelta (figura 20). La luz reflejada de vuelta consistirá en múltiples reflejos con información acerca de la distancia y el grosor de los diferentes tejidos oculares. El interferómetro óptico suma dos ondas electromagnéticas en dos rayos de luz: el de referencia y el de señal. Los rayos se recombinan y el resultante llega al detector, que medirá su potencia. Si se varía la posición del espejo de referencia, podremos medir los reflejos de luz que vienen de las diferentes estructuras oculares en estudio (figura 20).

Como se conoce la distancia a la que se encuentra el espejo de referencia, se puede determinar a la que está la estructura de la retina que ha generado un reflejo que coincide con el reflejo que proviene del espejo de referencia.

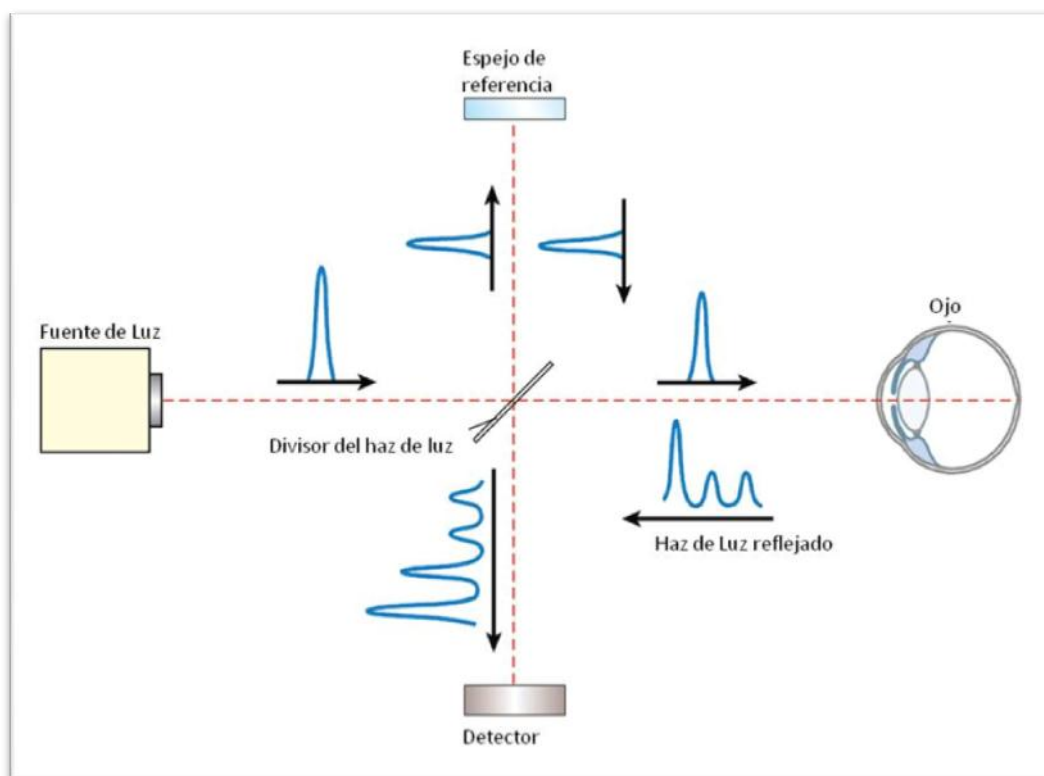


Figura 20: Interferometría de baja coherencia. Esquema de emisión y recepción de la luz: Imagen obtenida de *Diagnosis and therapy of the Glaucomas* (8th edition) pág. 176.

Las variaciones que se producen en la onda a medida que penetra en profundidad en un tejido nos permiten obtener un registro axial, conocido como A-scan. Si obtenemos múltiples A-scans desplazando nuestro haz incidente sobre el tejido siguiendo una línea recta, conseguimos un corte transversal, que se denomina B-scan. De la misma forma, la obtención de varios B-scans en paralelo genera un cubo tridimensional, en el que está contenida toda la información en profundidad del tejido sobre el que hemos hecho incidir nuestra radiación.¹³⁷

Dentro de la tecnología de la OCT existen dos sistemas: la OCT de dominio temporal y la OCT de dominio espectral. Los inicios de la OCT se basaron en la de dominio temporal.

Existen determinadas diferencias entre el dominio espectral y el temporal. La principal diferencia se refiere al espejo de referencia que en el caso de la OCT de dominio espectral es fijo mientras que en la de dominio temporal es móvil. Otra de las diferencias entre estas dos tecnologías de OCT es el detector utilizado. Todo ello le

confiere ciertos beneficios a la OCT de dominio espectral frente a la OCT de dominio temporal.

Estas ventajas son:

- Mayor resolución axial: La OCT de dominio espectral alcanza una resolución axial de alrededor de 5 micras, lo cual implica una mejor visualización de las estructuras.
- Mayor velocidad de escaneos por segundo: La OCT de dominio espectral permite entre 18.000 y 40.000 escaneos por segundo en contraposición de los 400 que permite la OCT de dominio temporal. Estas diferencias técnicas se traducen en una mejor visualización de las imágenes adquiridas mediante OCT de dominio espectral con respecto a las de dominio temporal. Esta tecnología también nos permite crear imágenes en 3D acerca de las estructuras que estamos analizando.

4.5.2 DISPOSITIVOS OCT DE SEGMENTO ANTERIOR:

Existen diferentes sistemas de OCT para la captura de imágenes del segmento anterior, algunos de los cuales son exclusivos para el segmento anterior, mientras que otros son dispositivos para la exploración del segmento posterior que pueden además estudiar la parte anterior del globo ocular.

A continuación hacemos un repaso a los diferentes modelos existentes en la actualidad.

Dispositivos OCT exclusivos de segmento anterior:

Existen 3 dispositivos principales en éste grupo:

❖ Slit Lamp OCT ®(Heidelberg Engineering GmbH)

Es un sistema de OCT adaptado sobre una lámpara de hendidura modificada. Realiza 200 A-scan por segundo. Utiliza un estrecho rayo de luz de baja intensidad emitido por la lámpara de hendidura para determinar la zona de escáner y éste debe ser posicionado de forma natural por el examinador.



Figura 21: Dispositivo Slit Lamp OCT.

❖ **OCT VISANTE**® (Carl Zeiss Meditec)

Es un instrumento independiente, con un sistema de captura de imágenes similar a la OCT Cirrus®. La velocidad de adquisición de las imágenes es 10 veces más rápida con el Visante OCT que con el Slit-Lamp OCT, siendo la resolución del primer dispositivo de 18 micras en el eje axial y 60 micras en el eje transversal, frente a las 25 micras y 75 micras del sistema de Heidelberg. Además el Visante OCT es capaz de escanear de 4 a 16 meridianos simultáneamente, mientras que el Slit Lamp OCT sólo puede escanear un meridiano en cada examen.



Figura 22: Dispositivo OCT Visante.

Los dos sistemas de OCT-SA permiten la medición entre dos puntos, así como la realización de un análisis cuantitativo de la cámara anterior. Los principales parámetros medidos por ambos aparatos son el grosor corneal, la profundidad de la cámara anterior, el ángulo esclero corneal y la distancia ángulo-ángulo.

INTRODUCCIÓN

El Visante® ajusta la refracción de cada sujeto, ya que la corrección del defecto refractivo es esencial para minimizar la variabilidad del tamaño de la pupila y la posición de la lente para la medición del ángulo.

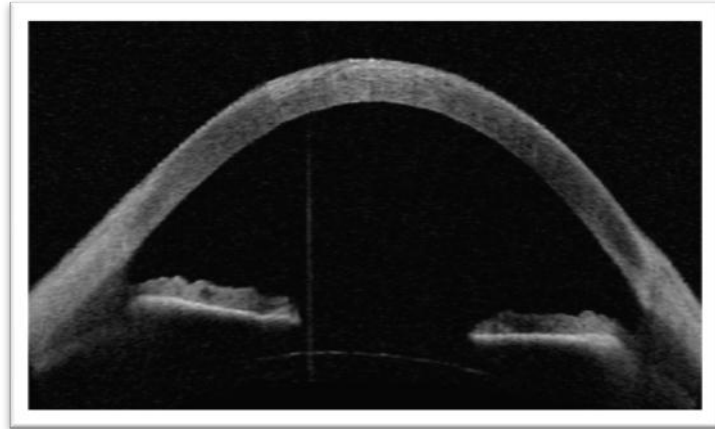


Figura 22: Imagen de la cámara anterior del globo ocular obtenida mediante exploración OCT Visante.

❖ **Casia SS-1000**® (Tomey, Tokio, Japón)

Se trata de un SD-OCT que únicamente explora el segmento anterior. Emite una longitud de onda de 1.310 nm con lo que aumenta la capacidad de penetración en el tejido examinado aunque disminuye la resolución. Así es capaz de analizar un plano de corte de 16 x 16 mm con una profundidad de corte de 6 mm (mientras que el resto de OCT diseñados para retina suelen tener una profundidad 3 veces menor).



Figura 23: Dispositivo OCT CASIA.

Mide 256 B-escaneos sobre la córnea, lo que le permite obtener una imagen 3D.

Permite la evaluación mediante la reconstrucción tridimensional de la configuración del iris del ángulo camerular.

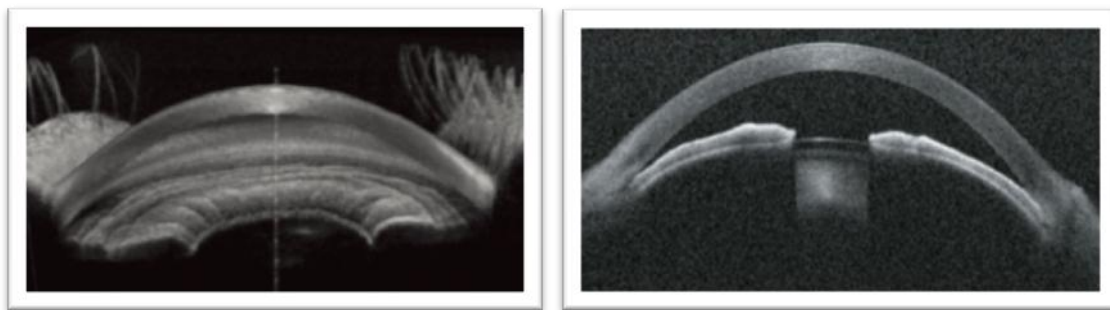


Figura 24: Imágenes de la cámara anterior del globo ocular obtenidas mediante OCT CASIA. La imagen de la izquierda muestra una representación tridimensional realizada por el dispositivo.

Sus características técnicas son una velocidad de adquisición de imágenes 30.000 A-escaneos/seg, resolución axial de 10 micras, resolución transversa de 30 micras, tiempo de adquisición de imágenes desde 0,3 seg (mapa topográfico/paquimétrico) hasta 4,3 seg (alta resolución).

Permite la realización de mapas de topografía corneal, paquimetría, análisis del ángulo y de la cámara anterior.

Dispositivos OCT para la exploración retiniana que estudian el segmento anterior:

La mayoría de los dispositivos SD-OCT disponen de un módulo adaptador para OCT-SA.

❖ Cirrus HD OCT (Carl Zeiss, Alemania):

Permite la adquisición y el análisis de imágenes de dominio espectral del segmento anterior. Para ello utiliza dos protocolos de adquisición de tomografía y análisis de imágenes: Cubo de segmento anterior de 512 x 128 (generando una imagen 3D de datos mediante una cuadrícula de 4 mm de lado, adquiriendo una serie de 128 barridos lineales horizontales compuestos, a su vez, de 512 barridos) y Rastreo de 5

INTRODUCCIÓN

líneas de segmento anterior (5 líneas horizontales de 3 mm separadas por 0,25 mm, de modo que las 5 líneas juntas cubren un ancho de 1 mm).



Figura 25: Dispositivo OCT Cirrus HD.

Una característica diferenciadora entre OCT Visante y OCT Cirrus HD es que el primero puede mostrar un corte de limbo a limbo completo, mientras que el Cirrus HD únicamente puede obtener imágenes de una zona angular en cada toma, no permitiendo la visualización de la totalidad de la cámara anterior en una sola imagen.

Éste sistema permite obtener imágenes del ángulo iridocorneal, visualizándose la línea de Schwalbe y la malla trabecular.

❖ **OCT Stratus (Carl Zeiss, Alemania):**

Es una OCT de dominio temporal con una velocidad de escaneo de 400 A-scans por segundo, muy inferior a las OCT de dominio espectral. Permite la obtención de imágenes de segmento anterior mediante la modificación del enfoque. Se recomienda realizar el protocolo “Line” para la exploración. Se obtienen imágenes válidas y reproducibles de la córnea, el ángulo iridocorneal e iris.

❖ **RTVue Fourier Domain OCT: Modelo RT 100 (Optovue®).**

La RTVue (Optovue)® emplea el método de las OCT de dominio espectral (SD-OCT) de modo que la información de frecuencias de todas las profundidades de un punto de la retina se adquiere simultáneamente por una cámara CCD y un espectrómetro.

Posteriormente mediante una transformación de Fourier, la información de frecuencias es traducida a información de intensidades.¹³⁸

Las características técnicas más destacadas del dispositivo son:

- Tasa de imágenes: 256 a 4096 A-scan/imagen
- Velocidad de escaneo: 26.000 A-scan/seg
- Resolución axial: 5 micras
- Resolución transversa: 15 micras
- Rango de exploración: profundidad de 2-2,3mm, transversa 2-12mm.
- Energía de exposición en la pupila: 750 microW.



Figura 26: Dispositivo OCT RTVue.

La gran velocidad de escaneo permite obtener mayor número de imágenes y disminuye los artefactos debidos al movimiento, de manera que al promediar las imágenes en una sola ("average frame") disminuye el ruido de fondo y se genera una imagen de mayor calidad. Además la mayor resolución axial mejora la delimitación de las distintas capas que conforman los tejidos.

Permite realizar exploraciones tanto de polo posterior como anterior con el mismo aparato, adaptando de manera sencilla una lente al objetivo. Obtiene imágenes de la córnea que permiten mediciones precisas y sencillas, aunque todavía presenta

limitaciones como el reducido campo de exploración por la gran magnificación de la imagen obtenida.

Como decíamos para el análisis del segmento anterior requiere la colocación de una lente diseñada para realizar un escáner telecéntrico en el que el haz de la OCT permanece siempre paralelo al eje central corneal. Hay disponibles 2 tipos, una de gran angular CAM-L para exploraciones rutinarias (proporciona un escaneado de hasta 8mm de ancho y resolución axial de 15 micras) y otra de gran aumento CAM-S para cortes transversales de estructuras pequeñas (hasta 4 mm de ancho y resolución de 10 micras).

Las exploraciones disponibles ofrecen gran libertad de movimiento por toda la superficie ocular, pudiéndose explorar la córnea, el limbo, la conjuntiva, el menisco lagrimal, así como la cámara anterior y sus estructuras (ángulo iridocorneal, iris, cápsula anterior del cristalino, etc). Una vez adquiridas las imágenes, se pueden realizar mediciones lineales, angulares y por áreas sobre ellas. La fiabilidad de las imágenes viene dada por el sistema SSI, un sistema de intensidad de la señal que advierte sobre la calidad de la imagen durante la captación de la misma.

Para estudiar el ángulo se puede utilizar el escáner prefijado "Angle", que detallamos en el apartado de material y métodos.

❖ **OCT SPECTRALIS (Heidelberg Instruments)**

Es un instrumento formado por la combinación de un oftalmoscopio láser confocal y un SD-OCT con un sistema de fijación ocular láser. Es uno de los equipos de SD-OCT más versátiles ya que tiene la opción de 6 módulos: angiografía con fluoresceína, verde de indocianina, imagen de autofluorescencia, SLO libre de rojo, SLO infrarrojo y OCT. Permite también la captación de imágenes de gran ángulo y la opción de OCT-SA.



Figura 27: Dispositivo OCT Spectralis Heidelberg.

Características técnicas:

- Velocidad de escaneado: 40.000 A-escaneos/seg.
- Resolución axial: 7 micras y de 4 micras tras el tratamiento digital de las imágenes.
- Resolución transversal: 14 micras
- Parámetro de fiabilidad: Signal Strength (Q) >15 dB
- Sistema de Eye tracking activo y AutoRescan para escanear de forma precisa las mismas áreas a lo largo de diferentes exploraciones.
- Posibilidad de objetivo de gran angular.

Dentro de los diferentes OCT de dominio espectral el Spectralis SD-OCT cuenta con la tecnología "Eye tracking" (compensación activa de los movimientos oculares). Utiliza fuentes de luz diferentes que permiten adquirir simultáneamente dos imágenes diagnósticas. Un rayo láser explora permanentemente el fondo de ojo, observa sus movimientos y sirve de este modo como referencia para poder conducir el segundo rayo sobre la posición apropiada para la adquisición de la imagen de sección transversal OCT. En sentido figurado, este seguidor de ojo activo "congela" el barrido OCT sobre la imagen de fondo del ojo manteniéndolo siempre exactamente en la posición deseada, incluso en caso de movimientos oculares.

Para adquirir las imágenes de polo anterior se debe añadir una lente, y éste sistema también se beneficia de la disminución de ruido de la imagen que permite el eye-tracking. Dispone de un software para el análisis de polo anterior que permite explorar

INTRODUCCIÓN

la estructura corneal, escleral y el ángulo, con una sección blanco-blanco que muestra los dos ángulos opuestos al mismo tiempo.

Además existen otros modelos menos populares, como la 3D OCT-1000 y 2000 (Topcon®), de dominio espectral que permite realizar estudio del segmento anterior y concretamente del ángulo camerular.

4.5.3 LA OCT DE SEGMENTO ANTERIOR PARA LA EXPLORACIÓN DEL ÁNGULO CAMERULAR. EVOLUCIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS:

Actualmente gracias a la tomografía de coherencia óptica (OCT) podemos obtener imágenes que suman los distintos conceptos anatómicos y estructurales del ángulo y que nos permiten correlacionar la imagen gonioscópica del ángulo con la imagen biomicroscópica del limbo esclerocorneal. Por ello, la tomografía nos permite realizar una descripción absolutamente novedosa del ángulo ya que nos proporciona información de la superficie (biomicroscopía del limbo esclerocorneal), de las estructuras internas de la pared esclerocorneal (cortes de los tejidos), y de las estructuras del ángulo (gonioscopia).¹³⁹

Como hemos descrito anteriormente en el desarrollo de la OCT existen dos tipos principales. Los primeros modelos diseñados que eran de dominio temporal (TD), y los más recientemente desarrollados de dominio espectral (SD). Los principios básicos de la TD y SD son similares. Sin embargo, como hemos visto más detalladamente, el espejo de referencia en el SD es estacionario mientras que en el TD el espejo se mueve. Por ésta razón las SD tienen una velocidad de escaneo mucho mayor, de 20.000 scan/seg. Entre los OCT-SD se incluyen los que poseen la tecnología de Fourier Domain (FD)¹³⁹. En estos últimos la interferencia entre los haces de luz del tejido a explorar y el de referencia, se detecta como un interferograma espectral el cual sufre una transformación de Fourier para producir los cortes axiales (A scans). Las características de éste sistema, como por ejemplo, la detección paralela, mejoran enormemente la velocidad de escaneo sin sacrificar los niveles de la señal. Como

resultado los OCT de FD ofrecen una velocidad de escaneado de 10 a 100 veces mayor que los OCT TD. De esta forma, la mayor velocidad de escaneado, minimiza una de las principales limitaciones de esta técnica, que son los movimientos oculares que se producen durante la toma de la imagen. Así, permiten obtener una mayor definición de la imagen debido a una mayor densidad de los cortes axiales en el mismo corte transversal. Esta misma velocidad facilita igualmente el registro y el cálculo del promedio de las secuencias de fotogramas. Este proceso de promediar los fotogramas hace posible tanto incrementar la relación señal-ruido de una imagen como remarcar las características anatómicas contenidas.¹³⁷

Las OCT TD tienen una buena penetración, permitiendo visualizar con definición detalles profundos como son la raíz del iris o el espolón escleral, sin embargo, no tienen resolución suficiente como para analizar detalles anatómicos más pequeños como son la malla trabecular o la línea de Schwalbe, que sí que se pueden visualizar con los dispositivos con tecnología SD.^{140,141}

En el diagnóstico y valoración del glaucoma existe un objetivo básico y primario, que es el de catalogar al glaucoma como de ángulo abierto o de ángulo estrecho. La OCT del ángulo surgió con el interés prioritario de poder medir su abertura para determinar aquellos sujetos con ángulos potencialmente ocluidos o con riesgo de cierre angular.^{142,143,144,145,146,147,148}

La gonioscopia ha sido, clásicamente, una técnica indispensable para visualizar las estructuras del ángulo y estimar la abertura del mismo, sin embargo no ha sido posible obtener medidas objetivas y reproducibles del ángulo de la cámara anterior, que sí ha sido posible obtener con dispositivos de imágenes como la BMU, dispositivos con tecnología Scheimplug y la OCT, que presenta una resolución muy superior al resto.^{149,150}

Numerosos trabajos intentaron establecer la concordancia con gonioscopia en cuanto a la valoración de la abertura angular, así en los primeros estudios realizados con OCT-SA, como el de Cheung y cols.¹⁵¹ se observó una fuerte correlación entre los parámetros que medían la abertura angular con OCT y la gonioscopia. Diferentes grupos de trabajo realizaron estudios similares pero con diferentes dispositivos de

INTRODUCCIÓN

OCT, como en el grupo de trabajo de Qin y cols.¹⁵² observando que también existía una fuerte correlación con la gonioscopia. En el estudio llevado a cabo por Sakata y cols.¹⁵³ demostraron que la OCT sobreestimaba la clasificación de los ángulos como cerrados en un porcentaje de los casos mayor que los clasificados por gonioscopia.

La visualización y medición exacta y objetiva del ángulo de la cámara anterior no sólo facilita el diagnóstico para la detección de ángulos estrechos y ángulos potencialmente ocluíbles, sino que permite también mejorar la comprensión de la fisiopatología del cierre primario angular.

Tras éstos trabajos, en los que se analizó la concordancia con la gonioscopia, se estudió entonces la abertura angular y se intentó establecer un punto de corte en cuanto a las medidas realizadas con OCT para considerar los ángulos como potencialmente ocluíbles. Además, con el desarrollo de la tecnología de la tomografía de coherencia óptica, se ha pretendido identificar las diferentes estructuras que componen el ángulo iridocorneal.

Las primeras medidas que se realizaron para conocer la abertura angular, requerían de la localización precisa del espolón escleral, ya que era el punto de referencia para realizar las mediciones. Clásicamente se han utilizado diferentes parámetros (como el AOD que es acrónimo de angle opening distance o distancia de abertura angular, el TISA que es acrónimo de trabecular iris space area o área iridotrabecular, el ARA que es acrónimo de angle recess area o área del receso angular o el TIA que es el ángulo iridotrabecular) basados en el espolón escleral. Sin embargo, el espolón escleral no siempre es visible. Algunos autores como Sakata y cols.^{153,154} en un estudio realizado en 502 sujetos, detectó el espolón escleral en un 72% con la OCT-Visante, siendo menos detectables en los cuadrantes verticales que en los horizontales. Por su parte, Leung y cols.¹⁵⁵ demostraron que en el cuadrante inferior, a las 6 horas, existe la peor visualización del espolón, mientras que la mejor visualización se observó en el cuadrante nasal.

Con la llegada de las OCT SD las estructuras del ángulo se pueden examinar con mayor detalle, y por ello se propusieron otros métodos de medida independientes del SS, como es la línea de Schwalbe debido a su mayor porcentaje de visualización. Es el caso

de Wong y cols.¹⁵⁶ con el Cirrus HD-OCT que detectaron el SS en el 78,9% y la L.S en el 93,3%, por lo que, propusieron medir el ángulo utilizando éste nuevo punto de referencia.

Wylegala¹⁵⁷ comparó diferentes modelos de OCT-SA (RTVue OCT y el Visante OCT) para realizar diferentes medidas de parámetros angulares tales como el AOD y el TISA en 30 individuos normales, y no encontró diferencias significativas entre las medidas de ambos dispositivos. Bald y Huang¹⁵⁸, compararon también ambos parámetros utilizando un OCT de dominio temporal, el Visante®, y un OCT Fourier Domain, el RTVue®. El Visante al utilizar una longitud de onda de 1310 nm presenta una mayor penetración, como hemos visto, por lo que detecta con facilidad el espolón escleral y el receso angular, y permite visualizar la cámara anterior en su totalidad, sin embargo, carece de una resolución suficiente como para visualizar detalles anatómicos como el canal de Schlemm, la línea de Schwalbe y la malla trabecular. Por el contrario, con la OCT RTVue es posible conocer el ángulo mediante un nuevo enfoque, ya que debido a su mayor resolución permite identificar las principales estructuras que componen el ángulo iridocorneal, pudiendo así identificar la principal estructura del mismo, como es la malla trabecular, mediante una visualización directa de la misma.

Swept source OCT es una forma de OCT FD, y ha sido la última novedad que ha aparecido en el mercado en el momento actual. El principal representante es el CASIA OCT®, que está diseñado específicamente para el segmento anterior y que posee una longitud de onda de 1.310 nm. Presenta una velocidad de escaneo de 30.000 A-scan/seg, y puede realizar 64 escaneos radiales a través de la totalidad de la cámara anterior en 1,2 seg. Con la reconstrucción de las imágenes individuales captadas, puede generar una imagen tridimensional del iris y del ángulo de la cámara anterior. Detecta tanto el SS como la LS en el modo de alta resolución, y en los trabajos realizados con éste dispositivo, se identifica la MT como el espacio que delimitan éstas líneas, pero no permite una visualización directa de la misma.

De esta forma, con la OCT de segmento anterior de alta resolución, es posible entre otras cosas medir la abertura angular y su relación con las estructuras de drenaje del humor acuoso, el tamaño de las diferentes estructuras que lo componen, su ubicación,

INTRODUCCIÓN

y el grosor de la esclera a nivel del limbo (que nos ofrece información para aplicaciones concretas como en la esclerectomía profunda no perforante, o para conocer el grosor del tapete escleral).

Se debe considerar, por tanto, como un método complementario a la gonioscopia, ya que ésta permite una visualización directa del ángulo y de la malla trabecular ofreciendo una gran información.

Una de las principales limitaciones de la OCT en la evaluación del ángulo camerular es su deficiente capacidad de visualización del cuerpo ciliar, debido a la falta de penetración a través del epitelio pigmentario del iris. Esto hace que, una vez detectado un ángulo potencialmente ocluíble o cerrado, sigan siendo imprescindibles otras técnicas para conocer el mecanismo del cierre angular, y la posible existencia de quistes del cuerpo ciliar, tumores, iris plateau, etc. También en diferentes trabajos se afirma que la OCT-SA no es capaz de distinguir entre un cierre angular aposicional y otro sinequial, por lo que cualquier contacto iridocorneal anterior al espolón escleral es considerado cierre angular.

En el momento actual existen diferentes modelos comerciales de OCT para la exploración del segmento anterior y del ángulo camerular (figura 28). La siguiente tabla (tabla 4) muestra una comparativa entre los principales dispositivos.

	Stratus OCT	Visante OCT	SL-OCT	RTVue FD-OCT	Cirrus HD-OCT	SPECTRALIS OCT	CASIA OCT
Fabricante	Carl Zeiss Meditec	Carl Zeiss Meditec	Heidelberg Engineering	Optovue	Carl Zeiss Meditec	Heidelberg Engineering	Tomey
Año	2002	2005	2006	2006	2007	2009	2009
Fuente de luz	Diodo superluminescente 820 nm	Diodo superluminescente 1310 nm	Diodo superluminescente 1310 nm	Diodo superluminescente 1310 nm	Diodo superluminescente 1310 nm	Diodo superluminescente 1310 nm	Swept source laser 1310 nm
Resolución axial (micras)	10	18	<25	5	5	7	<10
Tamaño del scan (ancho x profundidad)	6 x 2 mm	16 x 6 mm	15 x 7 mm	2x 2 mm (CAM-S) 6 x 2 mm (CAM-L)	3 x 1mm	16 mm	16 x 6 mm y 8 x 4mm (en HD)
Velocidad de scan	400 A scans/seg	2000 A scans/seg	200 A scans/seg	26.000 A scans/seg	27.000 A scans/seg	40.000 A scans/seg	30.000 A scans/seg

Tabla 4: comparación de los principales sistemas de imagen OCT para el segmento anterior.

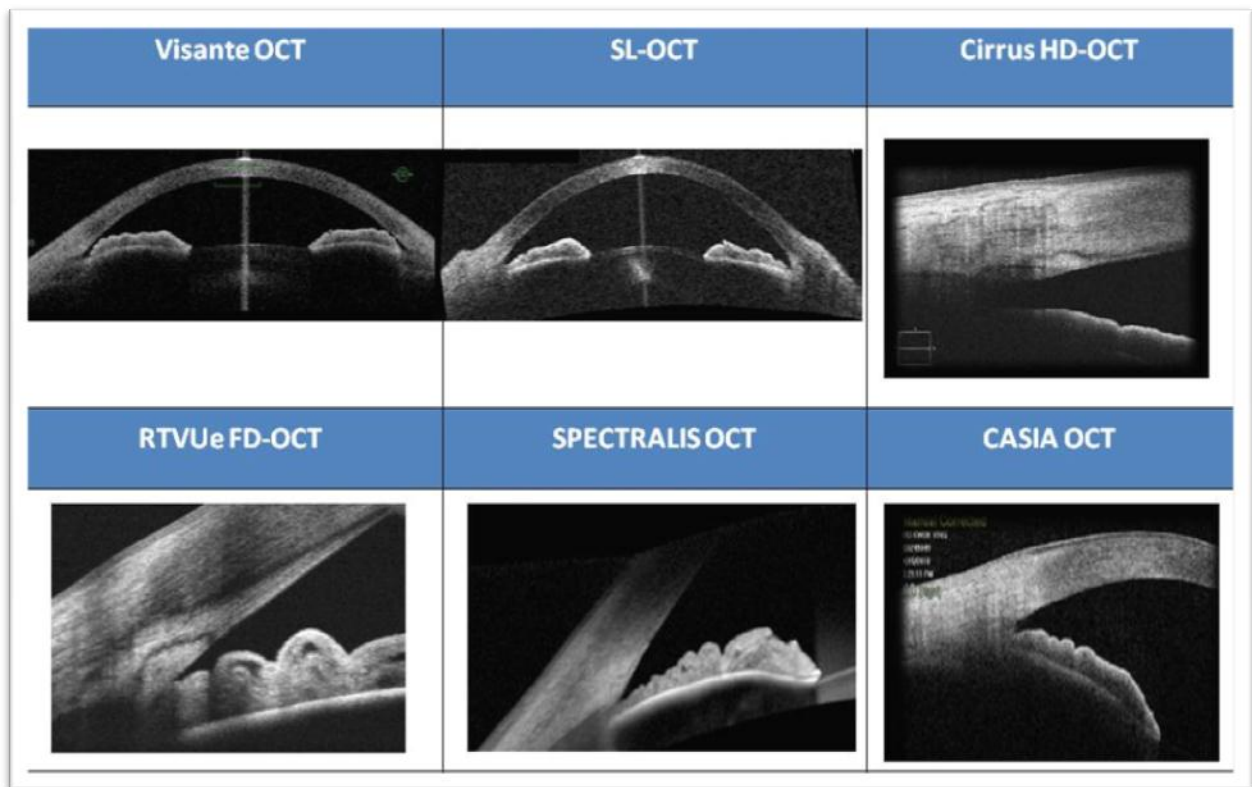


Figura 28: Imágenes del ángulo camerular obtenida mediante los diferentes dispositivos de OCT-SA.

En cuanto al futuro de las OCT, los nuevos OCT FD poseen ya resoluciones entre 1 y 5 micras gracias a las diferentes mejoras técnicas, como son una mayor anchura de banda y longitudes de onda más cortas.

Una OCT FD Swept source de segmento anterior, ultra rápida de 1050 nm está actualmente en desarrollo, y se ha demostrado recientemente que permitirá la toma de imágenes con una velocidad entre 100.000 a 400.000 A-scans/seg, lo que mejorará la resolución y por consiguiente, la identificación de las estructuras del ángulo, además de ofrecernos una información precisa en cuanto a la configuración del ángulo.¹⁵⁹

4.5.4 MEDIDAS DE LA OCT DE ÁNGULO CAMERULAR:

La OCT-SA permite el análisis cualitativo (ángulo abierto, cerrado, iris plateau...) y cuantitativo, proporcionando diferentes medidas relacionadas con la abertura angular.

Radhakrishnan y cols.¹⁶⁰ realizaron un estudio en 2005 para clasificar ángulos potencialmente ocluíbles comparando gonioscopia, OCT-SA y BMU. La OCT empleada fue un prototipo que realizaba 4.000 A scans/seg. Se realizó el estudio en 31 ojos, 17 de los cuales eran pacientes sanos y 14 de pacientes con glaucoma de ángulo estrecho. En éste trabajo se midió el AOD 500 introducido por Pavlin y cols.^{80,81}, y se propuso y se definió por primera vez el área iridotrabecular o TISA 500. El TISA se propuso por considerar que este parámetro representa el área de filtrado efectiva de una manera más precisa que el ARA, debido a que el TISA excluye la región no filtrante que está por detrás del espolón escleral. La OCT y la BMU demostraron una gran precisión en cuanto a la identificación de ángulos estrechos. En éste mismo trabajo¹⁶⁰, se propuso además el parámetro TICL (o longitud de contacto iridotrabecular), para describir un ángulo anatómico cerrado.

Por tanto, en el momento actual, las medidas más estandarizadas son:

- Abertura angular en grados: partiendo del receso angular, y situando las dos ramas del ángulo, una en el punto de inicio de la malla trabecular (en su zona próxima a la línea de Schwalbe) y la otra en la línea que pasa por la superficie del iris, o en el caso de que existan, trazando esa línea por encima de la primera ondulación/elevación que aparece en el iris.

En otros trabajos este mismo parámetro se describe como abertura del ángulo camerular (ACA)¹⁶¹ y se calcula situando el ápex en el receso angular y dirigiendo los dos brazos hacia los puntos que definen la AOD 500.

- AOD - Distancia de apertura angular: Distancia en micras entre un punto 500 o 750 micras anterior al espolón escleral y el iris. Se obtiene trazando una línea desde el espolón escleral hasta el endotelio corneal a 500 o 750 micras y a continuación otra desde dicho punto del endotelio corneal perpendicular a éste, hasta la superficie del iris. La más utilizada es la AOD 500. La AOD 750 es útil para estudiar la configuración del iris a medida que nos desplazamos anteriormente, de manera que si AOD 750 es menor que AOD 500 significará que el ángulo tiende a estrecharse en lugar de abrirse.
- TISA- Área irido-trabecular: Área trapezoidal comprendida entre la AOD, la superficie del iris, el endotelio corneal y una línea perpendicular partiendo desde el espolón escleral hasta el iris. En teoría representa mejor el área filtrante angular que la ARA porque excluye la zona no filtrante posterior al espolón escleral (figura 29).

Tanto el AOD como el TISA, son los 2 parámetros más estandarizados y utilizados en la valoración de la abertura angular.

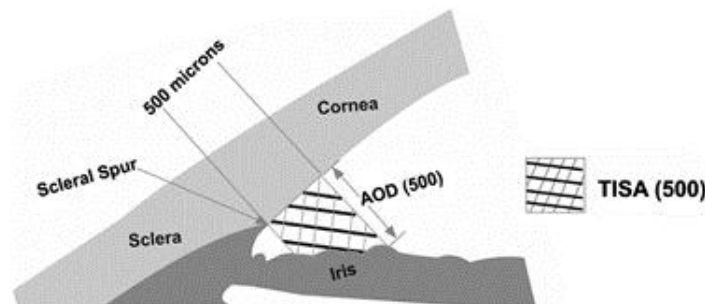


Figura 29: Esquema representativo de cómo se miden el AOD y el TISA.

- Área del receso angular (ARA 500 o 750): Área triangular formada por la AOD (500 o 750) como base, la superficie del iris y el endotelio corneal como lados y el receso angular como ápex. En teoría es mejor que la AOD porque tiene en cuenta todo el contorno del iris en lugar de un solo punto, y representa el área filtrante del ángulo.
- Longitud de contacto iridotrabecular (TICL): Distancia lineal de contacto entre el iris y la malla trabecular-endotelio corneal desde el espolón escleral. Sólo es medible en ángulos cerrados, ya que sólo en ellos existe este contacto.

4.5.5 CORRELACIÓN TOMOGRÁFICO HISTOLÓGICA:

Existe una correlación entre las imágenes obtenidas mediante tomografía de coherencia óptica y los cortes histológicos del ángulo iridocorneal (figura 30).



Figura 30: Imagen que muestra la correlación tomográfico-histológica del ángulo cameralar.

A continuación repasamos las principales estructuras:

- ❖ Córnea: las capas de mayor reflectividad en la OCT corresponden al epitelio y al endotelio corneal, que se diferencian del estroma adyacente por la menor reflectividad del mismo.
- ❖ Conjuntiva bulbar, limbo y esclera: el estroma escleral se observa como una banda de reflectividad alta, mayor que la corneal. El epitelio conjuntival aparece como una línea hiperreflectiva más fina que la que representa al epitelio corneal. El limbo aparece como un engrosamiento de la línea hiperreflectiva que une los epitelios corneal y conjuntival.

- ❖ Ángulo camerular: las OCT de dominio temporal (TD-OCT) sólo detectan la posición del espolón escleral lo que puede dificultar un análisis cuantitativo de los parámetros del ángulo de la cámara anterior que dependen de la localización del espolón. En los cuadrantes superior e inferior es especialmente difícil la localización del mismo. Con las SD-OCT pueden distinguirse además la malla trabecular y la línea de Schwalbe.
- ❖ Cámara anterior: se aprecia como imágenes negras al estar ocupadas por fluidos.
- ❖ Iris y Cuerpo ciliar: Podemos observar la morfología del iris que se visualiza como una estructura hiperrefringente. Con la OCT de 830 nm no es posible diferenciar el cuerpo ciliar y la zónula, ya que el epitelio pigmentario del iris no permite el paso de la luz. Con la OCT de 1310 nm se aprecia la raíz del iris, los recesos angulares y el cuerpo ciliar anterior.
- ❖ Cristalino: La OCT-SA permite la visualización de la porción anterior del cristalino a través de la pupila. La cápsula se aprecia como una estructura hiperreflectante, siendo el contenido hiporreflectante por su regularidad estructural. Con algunos modelos se pueden realizar mediciones del grosor del cristalino con gran reproducibilidad después de la dilatación pupilar.

4.5.6 CORRELACIÓN CON OTRAS TÉCNICAS:

- ❖ Gonioscopia: La gonioscopia tiende a detectar menos ángulos cerrados que la OCT-SA, y presentan una buena correspondencia aunque en cada técnica se toman como referencia diferentes puntos. La imagen de la OCT no se ve alterada por artefactos por la iluminación ambiental ni por la compresión del globo ocular ya que no existe contacto con el mismo.
- ❖ BMU: Los parámetros medidos con la BMU y la OCT-SA se correlacionan bien, aunque ésta última tiende a mostrar valores mayores. En referencia específicamente al ángulo camerular en algunos estudios es más fácilmente

identificable el espolón escleral en la OCT que en la BMU debido a su mayor resolución axial, aunque en ambas hay que determinar su posición manualmente. Con la OCT-SA es más difícil obtener imágenes de calidad de los cuadrantes inferior y superior, lo cual no sucede con la BMU.

- ❖ Fotografía Scheimpflug (tomaremos como referencia su principal representante, el Pentacam): presenta buena reproductibilidad intra e interobservador en sujetos sanos. En los estudios en los que se comparan la OCT-SA y el Pentacam no se encuentran diferencias significativas en la medición del ángulo. Sin embargo al utilizar luz visible, presenta como desventaja frente a la OCT-SA la pobre penetración de la luz a través del limbo (el ángulo no se visualiza directamente y su apertura se estima por extrapolación de las tangentes de la superficie del iris y la pared interna corneal).
- ❖ SPAC: Presenta buena correlación con la gonioscopia y muestra una alta sensibilidad y especificidad para detectar ángulos ocluidos. En un estudio en el que se comparan el SL-OCT y el SPAC con la gonioscopia, el SPAC mostró una sensibilidad similar a la SL-OCT y una especificidad mayor.

MATERIAL Y MÉTODOS

CAPÍTULO: MATERIAL Y MÉTODOS.

1. DISEÑO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LA MUESTRA.

1.1 DISEÑO DEL ESTUDIO.

Estudio prospectivo consecutivo unicéntrico.

El protocolo del estudio fue llevado a cabo siguiendo las normas éticas descritas en la Declaración de Helsinki para la investigación biomédica.

1.2 CONSENTIMIENTO INFORMADO.

A todos los pacientes se les solicitó permiso para ser incluidos en el estudio mediante un consentimiento informado en el que se explicaban las exploraciones y las pruebas complementarias a las que iban a ser sometidos, así como las consecuencias de los resultados que pudieran aparecer.

También se dejó constancia de la posibilidad de abandonar el estudio en cualquier momento del mismo, sin perjuicio alguno de cara a la asistencia facultativa que pudieran precisar.

1.3 SELECCIÓN DE LA MUESTRA.

Una muestra de 1.006 pacientes consecutivos sanos fueron prospectivamente seleccionados para el estudio, entre los pacientes que acudieron a las consultas del Centro Internacional de Oftalmología Avanzada situado en Madrid, entre el 1 de noviembre del 2.011 hasta el 30 de junio del 2.012.

Se estudiaron ambos ojos de cada paciente siendo el total de 2012 ojos.

Cada sujeto debía cumplir unos criterios de inclusión y exclusión para ser seleccionado para el estudio.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN:

- Edad comprendida entre los 18 y 85 años
- Raza caucásica
- Firma del consentimiento informado

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN:

- Edad menor de 18 o mayor de 85 años
- Patologías oculares diagnosticadas como glaucoma o catarata
- Antecedente de trauma ocular previo
- Cirugías oculares previas incluyendo catarata y cirugía refractiva
- Anomalías oculares o angulares
- Dificultades físicas o mentales que impidieran la realización de las exploraciones
- Síndromes o enfermedades generales graves

2. PROTOCOLO EXPLORATORIO.

A todos los pacientes se les realizaron los siguientes exámenes en una única visita a la consulta:

- Anamnesis general: nombre, sexo, fecha de nacimiento (edad), enfermedades generales, antecedentes familiares de enfermedades oftalmológicas, tratamientos sistémicos previos o actuales
- Historia clínica oftalmológica: cirugías previas, traumatismos, enfermedades oculares diagnosticadas, tratamientos oftalmológicos antiguos o actuales (tópicos, laserterapia, etc).



Figura 31: Lámpara de hendidura.

- Exploración oftalmológica básica: agudeza visual (mejor agudeza visual corregida), biomicroscopia anterior mediante lámpara de hendidura (figura 31), oftalmoscopia de segmento posterior con lente de + 78 D (Volk Optical Inc, Mentor, EEUU) previa midriasis farmacológica con colirio de Tropicamida al 0.5% (Alcon Laboratories Inc, Forth Worth, EEUU).
- Tonometría con neumotonómetro Canon TX 10® (Canon Inc.; Tokio, Japón).
- Topografía corneal y análisis del segmento anterior mediante Pentacam® (Oculus Inc, Wetzlar, Germany).
- Biometría mediante IOL Master® (Carl Zeiss, Meditec, USA).
- Tomografía de coherencia óptica mediante la OCT RTVue® Fourier Domain.

Para la captura de las imágenes con la OCT-SA, el Pentacam y el IOL Master, durante la exploración se estandarizaron las condiciones de luz, utilizando un fotómetro SEKONIC Flashmate L-308S (SEKONIC, Tokyo, Japón), siendo éstas de 7 EV o 320 lux.

3. METODOLOGÍA DE LAS PRUEBAS COMPLEMENTARIAS.

3.1 PENTACAM® (Oculus Inc, Wetzlar, Germany):

Es un tomógrafo-topógrafo con una cámara rotacional basada en el principio de Scheimpflug que produce imágenes tridimensionales de alta resolución del polo anterior.

Tras la captura de la imagen se representa el ojo virtual en la pantalla y permite su manipulación, pudiendo calcular además de la paquimetría, la topografía y medir la cámara anterior.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tiene una cámara rotacional que capta 50 imágenes en menos de 2 segundos. Puede construir imágenes en 3D. Calcula la topografía corneal de la cara anterior y posterior de la córnea, el grosor corneal, la medida de la profundidad de la cámara anterior, y la abertura angular.

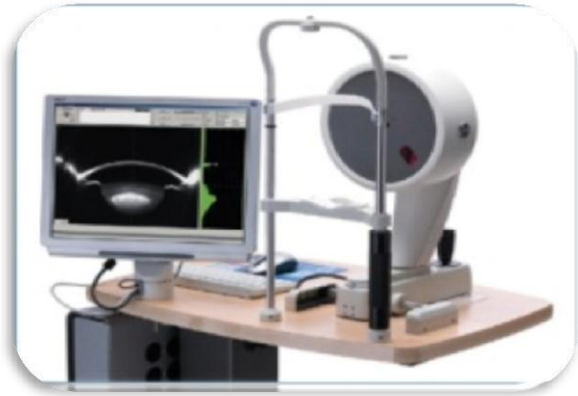


Figura 32: Pentacam®.

Mediante el Pentacam® hemos medido diferentes aspectos de la morfología del globo ocular como son:

- Profundidad de la cámara anterior (medida desde epitelio)
- Paquimetría
- Diámetro pupilar
- Volumen de la cámara anterior
- Abertura angular medida en grados en los sectores nasal y temporal (figura 33).

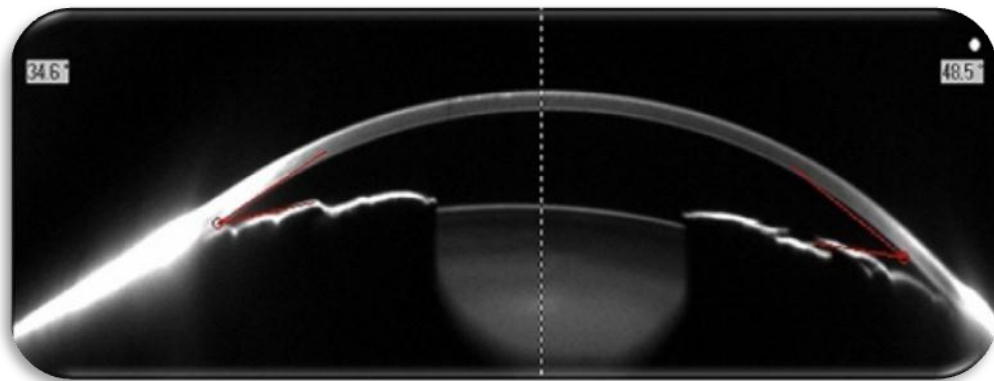


Figura 33: Visualización de la cámara anterior y medida de la abertura angular mediante Pentacam.

No se recogieron los datos de las mediciones de la abertura angular cuando dichas mediciones no fueron fiables ya que se trazaban de manera automática en localizaciones que no partían del receso angular siguiendo cada una de las ramas del ángulo la superficie endotelial e iridiana (figura 34).

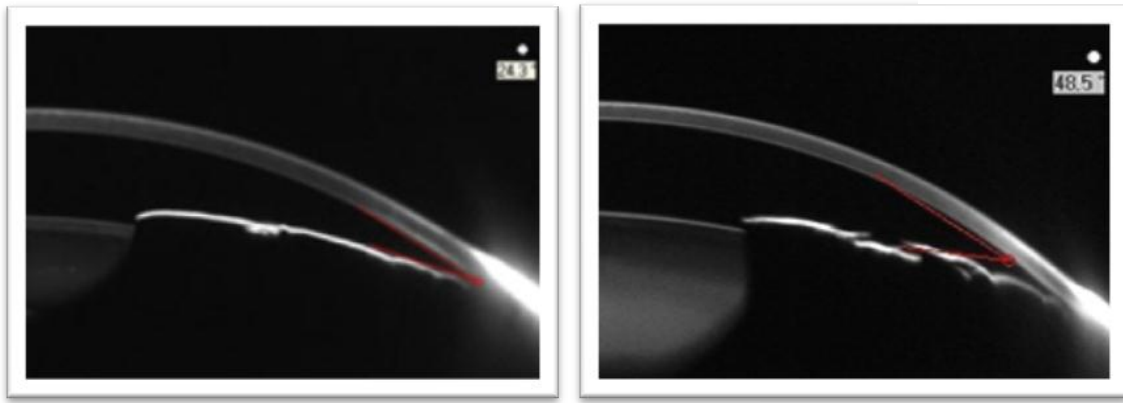


Figura 34: en la imagen de la izquierda obtenida mediante Pentacam, la medición automática del ángulo parece fiable, sin embargo en el caso de la derecha, la medición automática es poco fiable ya que no parte del receso angular.

En algunos casos tampoco se pudo recoger los datos de la profundidad y el volumen de la C.A, la paquimetría y el diámetro pupilar sin encontrarse un motivo aparente que imposibilitara estas medidas.

En los casos en los que no se pudo obtener el dato de la medición en la primera exploración, se realizó una segunda exploración, descartando realizar nuevas mediciones en el caso de no ofrecer entonces la medida estudiada.

3.2 IOL MASTER® (Carl Zeiss, Meditec, USA):

Se fundamenta en la biometría óptica combinada con la interferometría de coherencia parcial (ICP) que es una variación de la tomografía de coherencia óptica. Está basada en la proyección de dos haces de luz de alta coherencia sobre el globo ocular y la medición de la reflexión de los mismos sobre las diferentes estructuras oculares. Este doble haz permite eliminar la influencia de los movimientos longitudinales del ojo durante las mediciones, usando la córnea como superficie de referencia (figura 35).

MATERIAL Y MÉTODOS



Figura 35: En la imagen izquierda se observa el dispositivo IOL Master, y en la imagen derecha se muestra la pantalla del dispositivo en el momento de realizar la exploración.

El IOL Máster® permite medir, sin contacto corneal, la longitud axial del globo ocular^{162, 163} y la profundidad de la cámara anterior del ojo; evitando la anestesia.

Utiliza una frecuencia de 50-60 Hz y la potencia de absorción es de 80 VA máxima.

En nuestro protocolo exploratorio mediante IOL Master® hemos medido:

- profundidad de la cámara anterior (medida desde epitelio)
- longitud axial
- distancia blanco-blanco o diámetro de la cámara anterior
- diámetro pupilar

En algunos casos el aparato no proporcionó información acerca de la medida realizada, sin encontrarse un motivo aparente que imposibilitara estas medidas.

En los casos en los que no se pudo obtener el dato de la medición en la primera exploración, se realizó una segunda exploración, desistiendo en el caso de no ofrecer entonces la medida estudiada.

3.3 OCT-SA FOURIER DOMAIN RTVue 100 (Optovue Inc, Fremont, CA, USA)

3.3.1 MATERIAL: Características del dispositivo.

Se ha realizado el trabajo con una OCT de dominio espectral, Fourier Domain (RTVue®). Sus características fundamentales son, una velocidad de 26.000 A-scan por segundo, un diodo 840 nm, y una resolución axial de 5-8 micras.

Para el análisis del segmento anterior, requiere la colocación de una lente diseñada para realizar un escáner telecéntrico en el que el haz de la OCT permanece siempre paralelo al eje central corneal. Hay disponibles 2 tipos de lentes, una de gran angular CAM-L para exploraciones rutinarias (proporciona un escaneado de hasta 8 mm de ancho y resolución axial de 15 micras) y otra de gran aumento CAM-S para cortes transversales de estructuras pequeñas (hasta 4mm de ancho y resolución de 10 micras).



Figura 36: Lente CAM-L para realizar la exploración del segmento anterior con la OCT RTVue.

Las lentes para la exploración de la cámara anterior precisan de una distancia de trabajo entre el adaptador de la lente es de 13 mm para CAM-L y 10 mm para CAM-S.

Existen diferentes patrones posibles de escaneado del ángulo, con las siguientes características que se recogen en la siguiente tabla (tabla 5):

CAM-L CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS PATRONES DE ESCANEADO				
PATRÓN	# de escáner/X/Z	A-scan	Ajuste	Modo por defecto
HD Angle 0.16 seg	1 x 3 mm x 2.3 mm	1 x 4096	Transversal: 2-6 mm (0.5 mm de incremento) Ángulo: -90 a 90 (1º de incremento)	3 mm 0 grados
Angle 0.04 seg	1 x 3 mm x 2.3 mm	1 x 1024	Transversal: 2-6 mm (0.5 mm de incremento) Ángulo: -90º a 90º (1º de incremento)	3 mm 0 grados
Raster 0.2 seg	5 x 6 mm x 2 mm	5 x 1024	Transversal: 2-6 mm Ángulo: -90º a 90º	6 mm 0 grados

Tabla 5: Características del patrón de escaneado con la lente CAM-L.

Permite analizar independientemente las estructuras del segmento anterior sin embargo no es posible representar toda la cámara anterior en una sola imagen por lo que no permite medir su profundidad ni de su diámetro.

Patrones de escaneado del ángulo (tanto para CAM-L como para CAM-S):

- L: Line, corte en cualquier punto de la exploración. Toma 32 imágenes y hace una media. Más utilizado para exploraciones corneales.
- CL: corte similar al Line, pero uno es vertical y otro horizontal en cualquier punto de la exploración. También es más utilizado para exploraciones corneales.
- ANGLE y HD ANGLE: toma 16 imágenes y da la media en cada punto (figuras 37 y 38 respectivamente).
- RASTER: nos ofrece 17 cortes por imagen, y la distancia entre cada corte puede ser variable. Es decir, podemos hacer un raster de 1 mm, y el sistema nos dará

17 imágenes (cortes) de ese milímetro, hasta un raster de una zona de 8 mm (nos dará 17 imágenes de esos 8 mm). Por defecto los da en 6 mm. La longitud del haz de raster puede medir de 2 a 8 mm, es decir, puede rastrear con un haz muy corto (2 mm) o muy largo (8mm) (figura 39).

Al tiempo el programa ofrece una imagen de vídeo que capta el segmento anterior del ojo que aparece simultáneamente en la pantalla, de tal forma que en cada momento el programa indica dónde se está realizando el escaneado, lo cual permite una localización geográfica y facilita una representación tridimensional de la exploración y de los hallazgos.

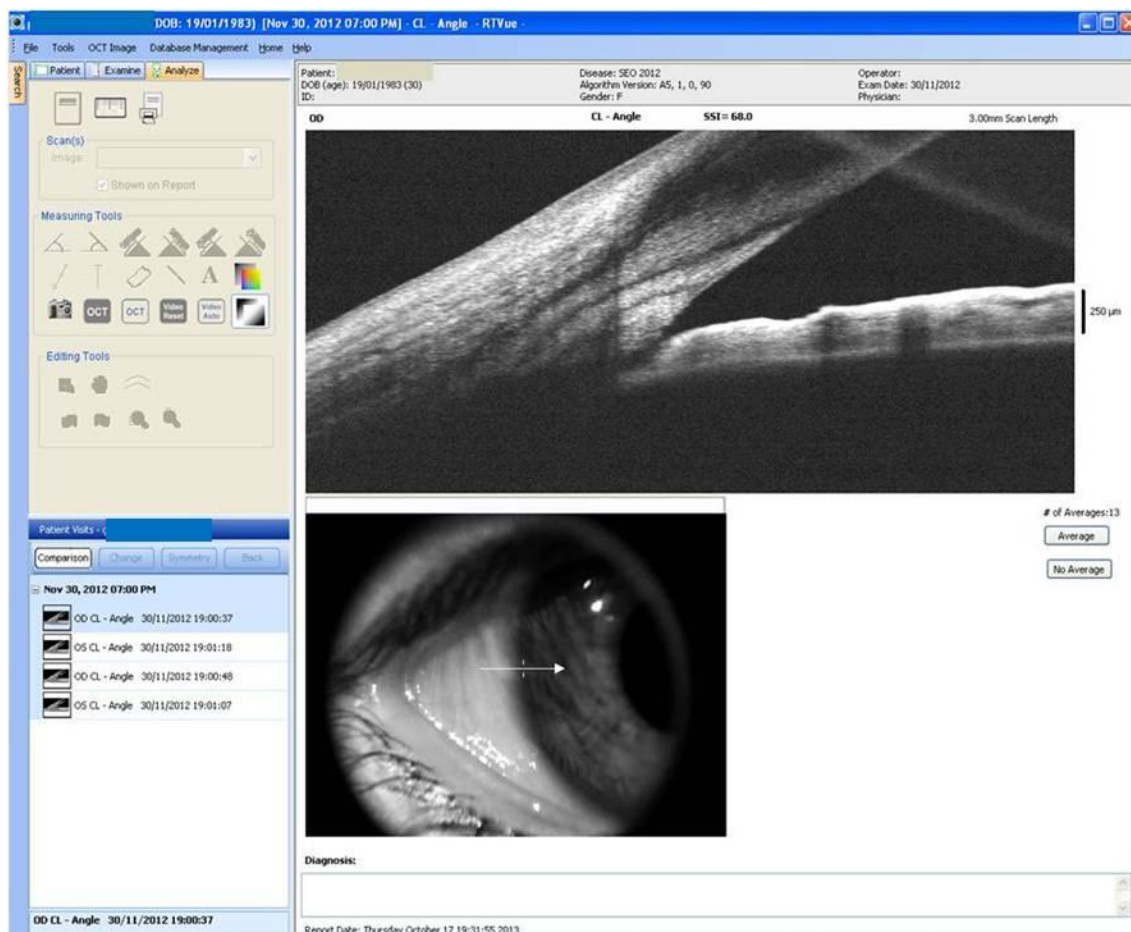


Figura 37: Pantalla del software de la OCT RTVue en la que se muestra una exploración en modo Angle.

MATERIAL Y MÉTODOS

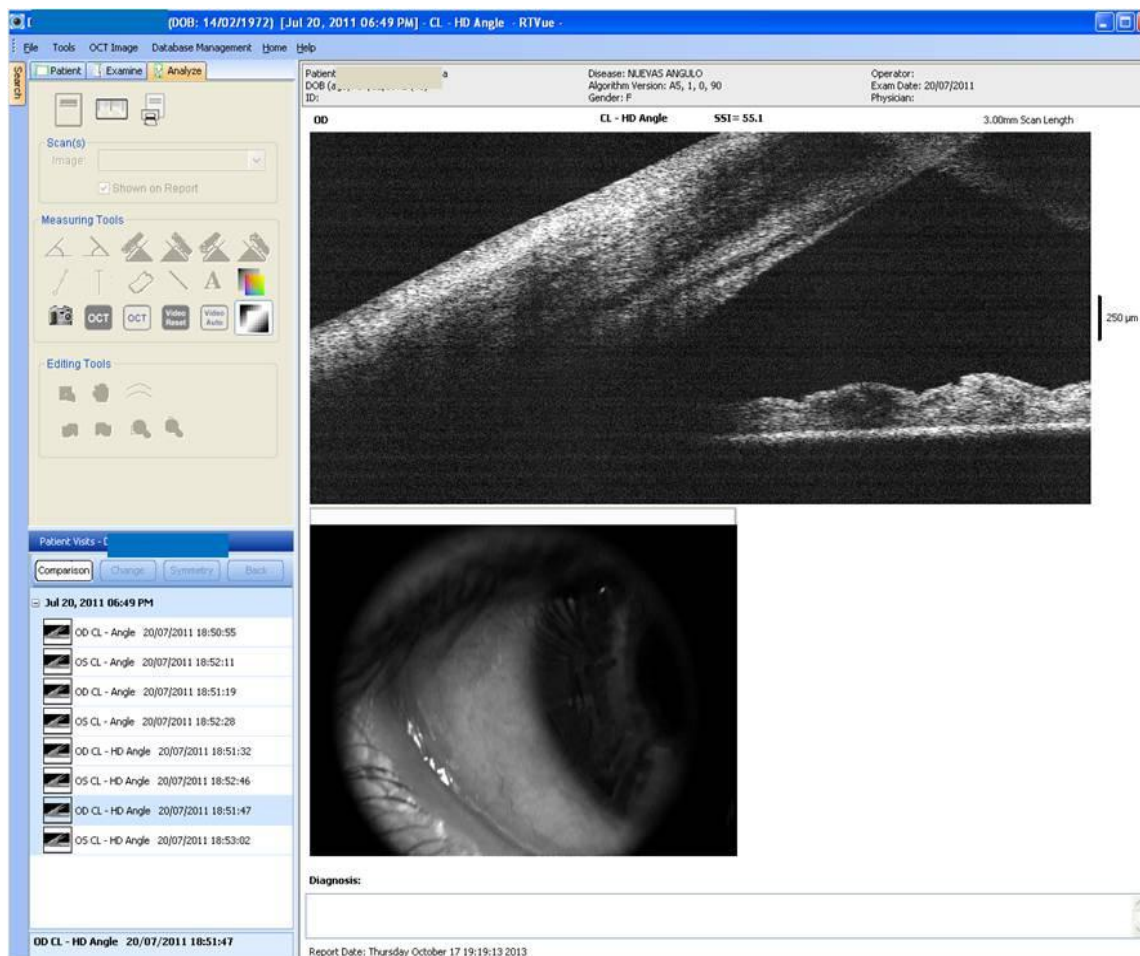


Figura 38: Pantalla del software de la OCT RTVue en la que se muestra una exploración en modo HD-Angle.

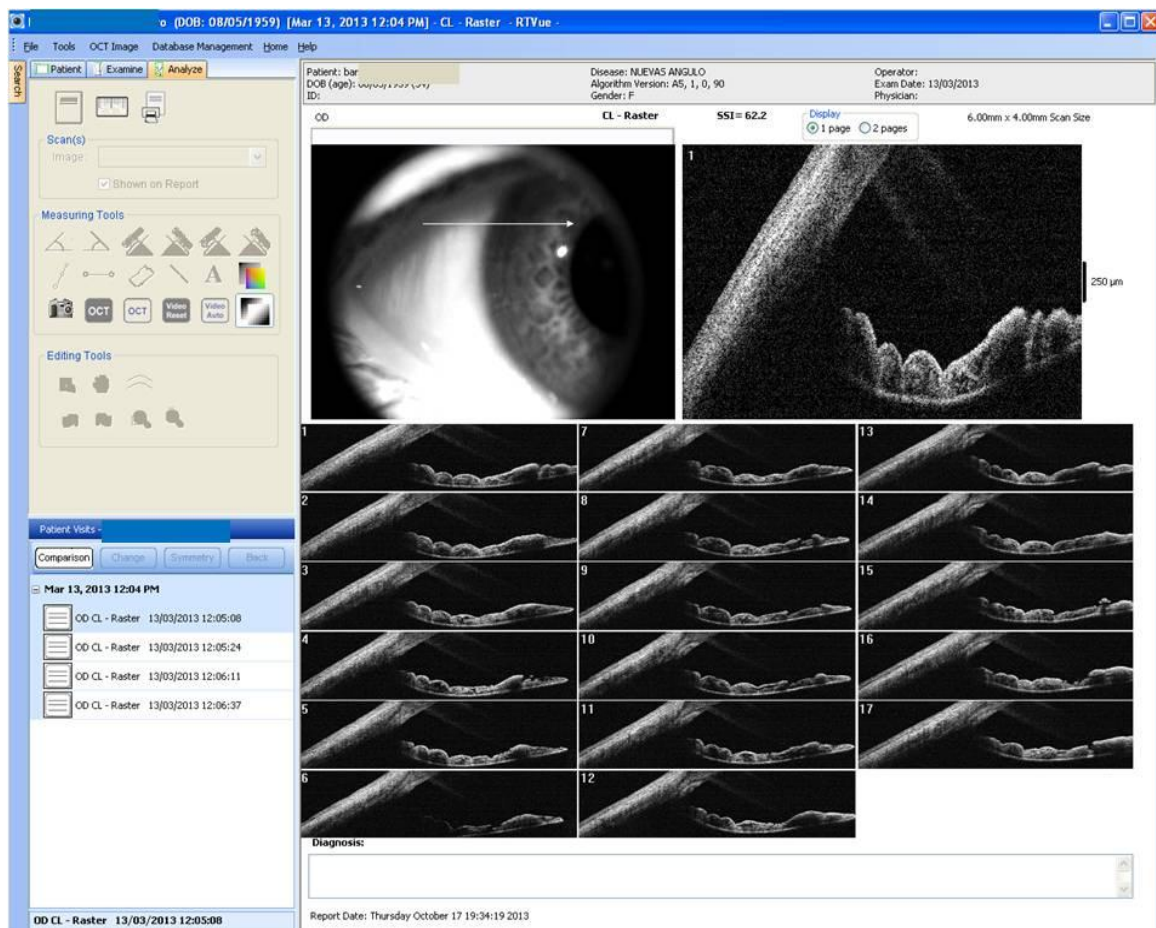


Figura 39: Pantalla del software de la OCT RTVue en la que se muestra una exploración en modo Raster, con los 17 cortes obtenidos.

De todos ellos los más utilizados son esencialmente el modo ángulo y el modo raster. La ventaja del modo ángulo es que hace una reproducción exacta, sin compensaciones, del ángulo, lo que permite hacer mediciones muy fiables y proporciona una imagen muy real.

En el modo raster, la representación de la imagen está adaptada, no es real, aunque las mediciones sí lo son. La ventaja del raster es que nos ofrece la sucesión de las 17 imágenes consecutivas y consecuentemente permite obtener una idea muy ajustada de la configuración del ángulo iridocorneal.

3.3.2 PROTOCOLO EXPLORATORIO MEDIANTE OCT:

3.3.2.1 CAPTURA DE IMÁGENES:

Para adquirir imágenes del ángulo con el software:

- En primer lugar se debe adaptar la sala de exploración a las condiciones de luz adecuadas, en nuestro caso iluminación mesópica.
- Se pone la lente escogida, en nuestro caso CAM-L.
- Se selecciona al paciente en la base de datos, o se crea un nuevo paciente.
- Se crea una nueva visita.
- Se elige el módulo CAM-L de Cornea, y se selecciona el escáner Angle (Ángulo) (figura 40).

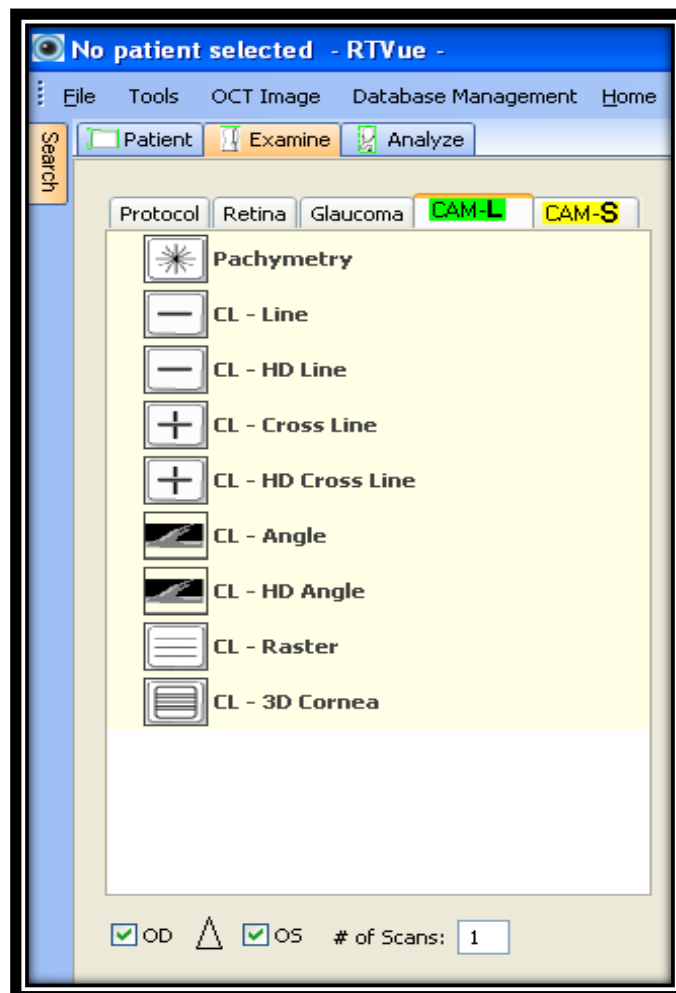


Figura 40: Pantalla del software de la OCT RTVue en la que se muestra el menú con los diferentes tipos de exploraciones posibles del segmento anterior.

- Se alinea y se sitúa el marcador en la zona que se desee escanear.

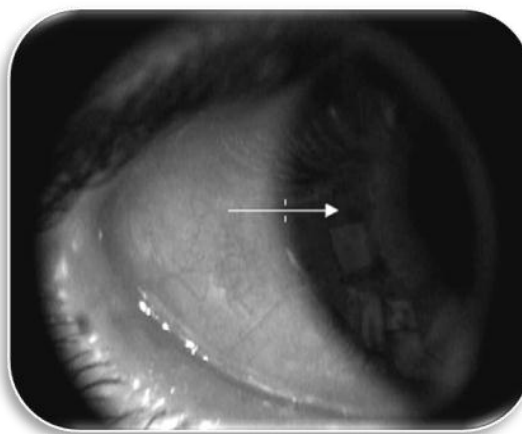


Figura 41: Pantalla del software de la OCT RTVue en el momento de situar el marcador en la zona que se desea escanear, en este caso el ángulo temporal del OD.

- Se observa si la calidad de imagen es óptima.
- Se realiza el escáner.
- Una vez finalizado se revisa el escáner y se comprueba la óptima calidad de imagen.
- Se guarda el escáner.
- Una vez realizado el escáner, al cargar las imágenes de la base de datos, se pueden realizar las mediciones sobre las imágenes obtenidas.

PROTOCOLOS DE ESTUDIO MEDIANTE OCT:

- a) Protocolo de estudio para la identificación de estructuras mediante OCT.
- b) Protocolo de estudio para valorar la reproducibilidad de las medidas mediante OCT.
- c) Protocolo para el estudio de la abertura angular, de la malla trabecular y de los parámetros angulares.

Todas las imágenes obtenidas mediante OCT fueron realizadas bajo las mismas condiciones de luz estándar, y la calidad de las imágenes fue garantizada por el SSI (sistema de intensidad de la señal), en el que las imágenes fueron tomadas cuando éste índice era superior a 30. Además de este criterio general de calidad, se tuvieron

en cuenta criterios específicos para la identificación o la medida de cada una de las estructuras o parámetros estudiados, y se detallarán posteriormente.

A) Protocolo de estudio para la identificación de estructuras mediante OCT

En nuestro protocolo de estudio para la identificación de estructuras en la imagen tomográfica, la exploración se ha realizado con la pupila en condiciones normales, con iluminación mesópica, y con el software en modo angle.

En un primer estudio piloto, se analizaron 4 puntos: a las 12, a las 3, a las 6 y a las 9 horas, observando que las imágenes de mayor calidad y las que ofrecían mayor reproducibilidad eran las obtenidas en los sectores nasal (a las 3 horas) y temporal (a las 9 horas). Por tanto, el estudio y los resultados que se exponen se refieren únicamente a los cuadrantes horizontales, es decir, nasal y temporal de ambos ojos.

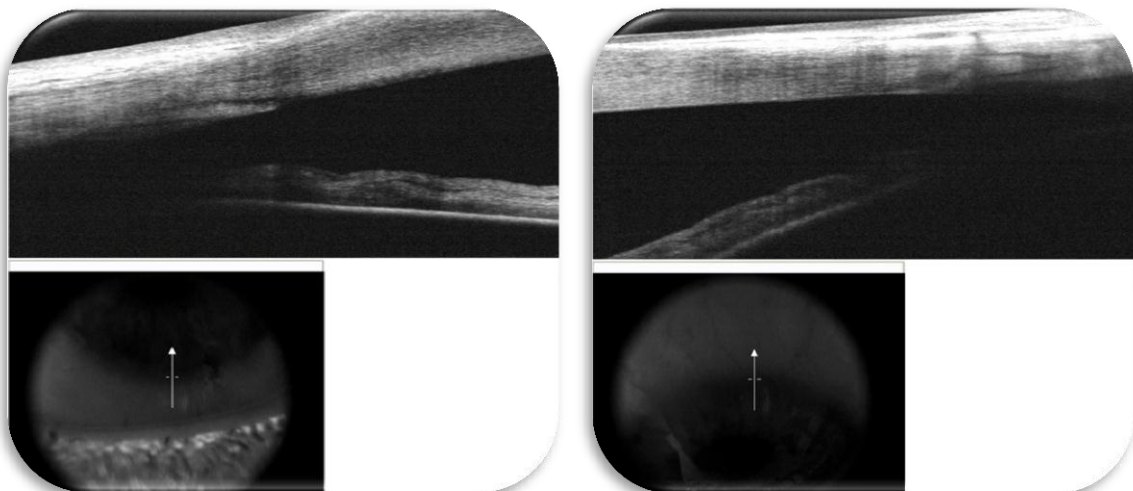


Figura 42: imágenes obtenidas en los sectores inferior (izquierda) y superior (derecha).

Las imágenes fueron evaluadas por dos oftalmólogos diferentes previamente entrenados (JFV, JGB).

Se establecieron 4 grados de calidad de la imagen tomográfica, siendo el grado 1 la imagen de mejor calidad y grado 4 la de peor calidad.

Los 4 grados son:

- Grado 1: Imagen clara y nítida, es fácil la identificación de la estructura.
- Grado 2: Imagen de menor calidad, aunque permite identificar la estructura.
- Grado 3: Imagen de baja calidad, no permite identificar la estructura. Aunque tiene la suficiente calidad para identificar otras estructuras.
- Grado 4: Imagen de mala calidad, inservible para identificar más de dos estructuras.

Se considera que se puede identificar una estructura cuando la imagen se cataloga como grado 1 o grado 2, siendo por tanto la identificación final de la estructura la suma de ambas.

Se realizó además un estudio de concordancia en cuanto a la identificación de estructuras tanto intra como interobservador.

En este estudio, se ha descrito la imagen tomográfica para la posterior identificación y cuantificación de las diferentes estructuras que la componen.

La técnica presenta una elevada resolución de imagen que permite medir las principales estructuras que componen el ángulo. Así, la identificación de las estructuras nos permite medir con mayor exactitud los parámetros clásicos del ángulo.

En esta primera parte se realiza el estudio del ángulo camerular para poder definir así el patrón de normalidad. Para ello en primer lugar se identifican las estructuras definiendo sus características tomográficas y su frecuencia de identificación de las mismas.

En nuestro trabajo, por tanto, se analizan diferentes estructuras y se compara la imagen tomográfica con la histológica, que es el patrón de referencia, para observar la correspondencia de las mismas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para entender los hallazgos, nos basamos en la interpretación histológica del ángulo realizada por Sampaolesi¹⁰, que explica que el tejido escleral tiene 3 prolongaciones: la prolongación esclerocorneal anterior, el septum escleral, y el espolón escleral (figura 43).

Además describe que las tres prolongaciones delimitarían dos canales: uno anterior que aloja la cornea y otro posterior que aloja a los elementos de filtración: el conducto de Schlemm y la malla trabecular. La parte intermedia del seno está formada por la cara interna del musculo ciliar y la pared interna del seno por el iris y su raíz.

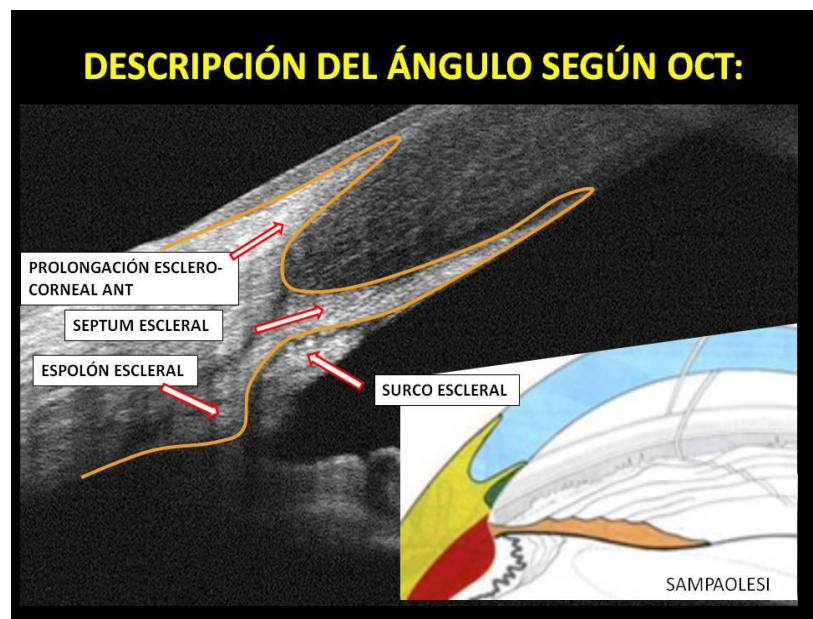


Figura 43: En la siguiente imagen se aprecia la correlación tomográfica, con la descripción clásica del ángulo camerular realizada por Sampaolesi.

Estructuras analizadas:

Se han analizado las siguientes 8 estructuras (figura 44):

- 1.- Limbo externo
- 2.- Transición córneo-escleral
- 3.- Línea de Schwalbe
- 4.- Malla trabecular
- 5.- Canal de Schlemm
- 6.- Espolón escleral
- 7.- Ápex del ángulo
- 8.- Banda ciliar



Figura 44: Descripción de las estructuras angulares mediante OCT.

1. Limbo externo:

En primer lugar se encuentra el limbo externo que es la zona de transición del epitelio corneal al epitelio y mucosa conjuntival. Es una zona de mayor grosor y marcadamente hiperreflectiva. Se considera que mide entre 1-1.5mm de longitud (figura 45).



Figura 45: Descripción e identificación del limbo externo mediante OCT.

2. Transición córneo-escleral:

Es la zona de transición entre el estroma corneal y el escleral, y presenta forma de semiluna con una diferente reflectividad, siendo la zona del estroma corneal más homogénea e hiporreflectiva (figura 46).



Figura 46: Descripción e identificación de la transición corneo-escleral mediante OCT.

3. Línea de Schwalbe:

Se observa como un punto con una ligera hiperreflectividad localizada en el límite anterior de la malla. Se puede identificar como una protrusión que se aprecia tan sólo en un 15% de los cortes histológicos (figura 47).

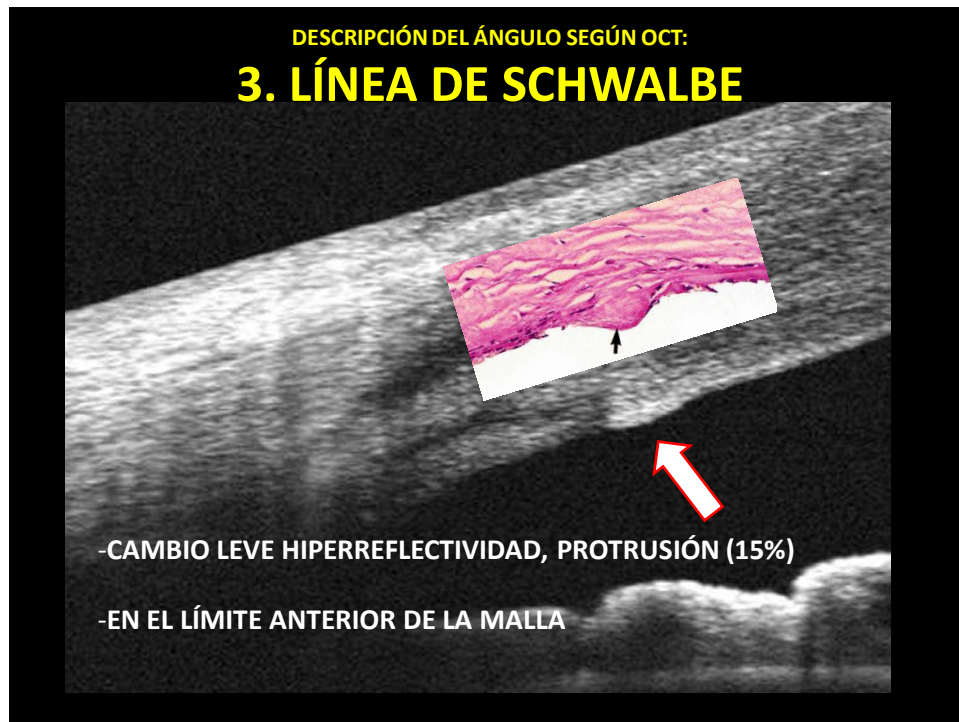


Figura 47: Descripción e identificación de la línea de Schwalbe mediante OCT.

4. y 5. Malla trabecular y Canal de Schlemm.

La malla trabecular es la estructura fundamental del ángulo por su fisiopatología en el drenaje del humor acuoso. Se identifica como un tejido hiperrefringente, que se encuentra incluido en el interior del surco escleral.

Presenta una forma de semiluna, delimitada en su parte anterior por la línea de Schwalbe, en su parte posterior por el espolón escleral, y ocupa parte del tercio interno del grosor escleral (figura 48).

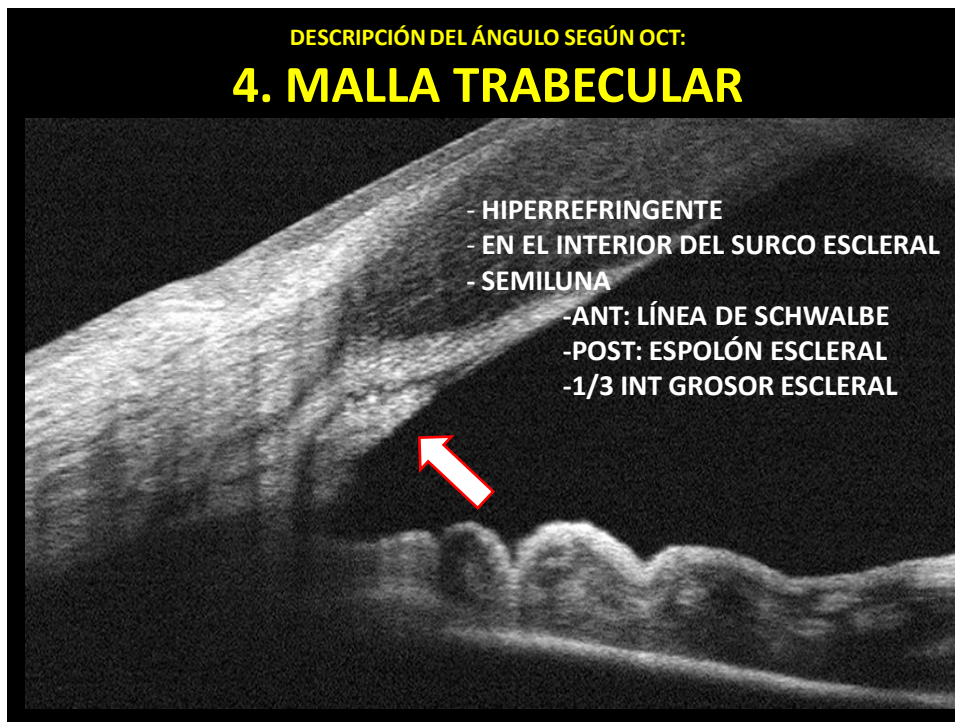


Figura 48: Descripción e identificación de la malla trabecular mediante OCT.

El canal de Schlemm se presenta como un espacio alargado y estrecho, que rodea por fuera la malla trabecular. Es un espacio ópticamente vacío y con un aspecto hiporreflectivo. Presenta una gran interrelación con la malla trabecular y el surco escleral.^{2, 13, 14} (figura 49).

También hemos identificado en nuestras imágenes, canales colectores prominentes que se relacionan con el canal de Schlemm y con el resto del sistema de drenaje del humor acuoso.

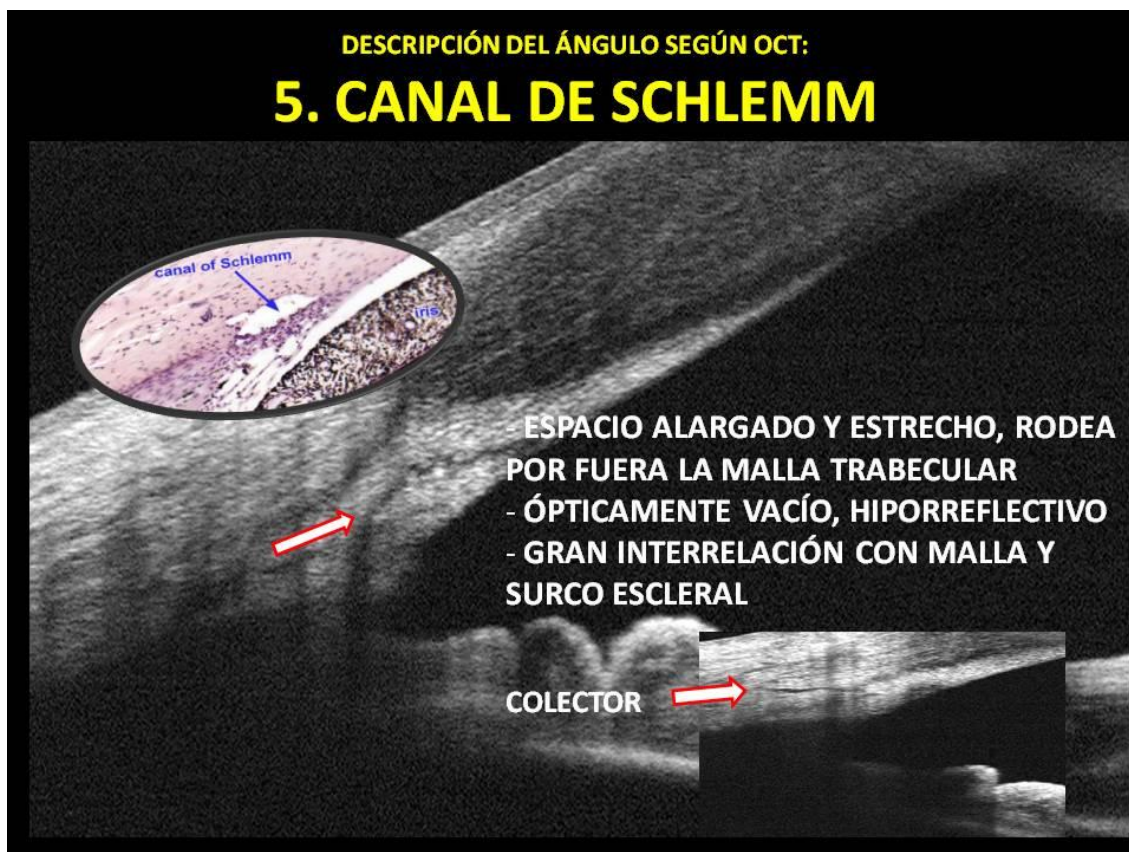


Figura 49: Descripción e identificación del canal de Schlemm mediante OCT.

6.-Espolón escleral:

El espolón escleral se aprecia como una protrusión hacia la cámara anterior, y está localizado en la parte posterior e interna de la malla trabecular. Se observa como un tejido hiperreflectivo debido a que forma parte del tejido escleral (figura 50). En las imágenes también se aprecia la sombra subyacente que genera la lámina fusca debida a la gran absorción de luz que produce.

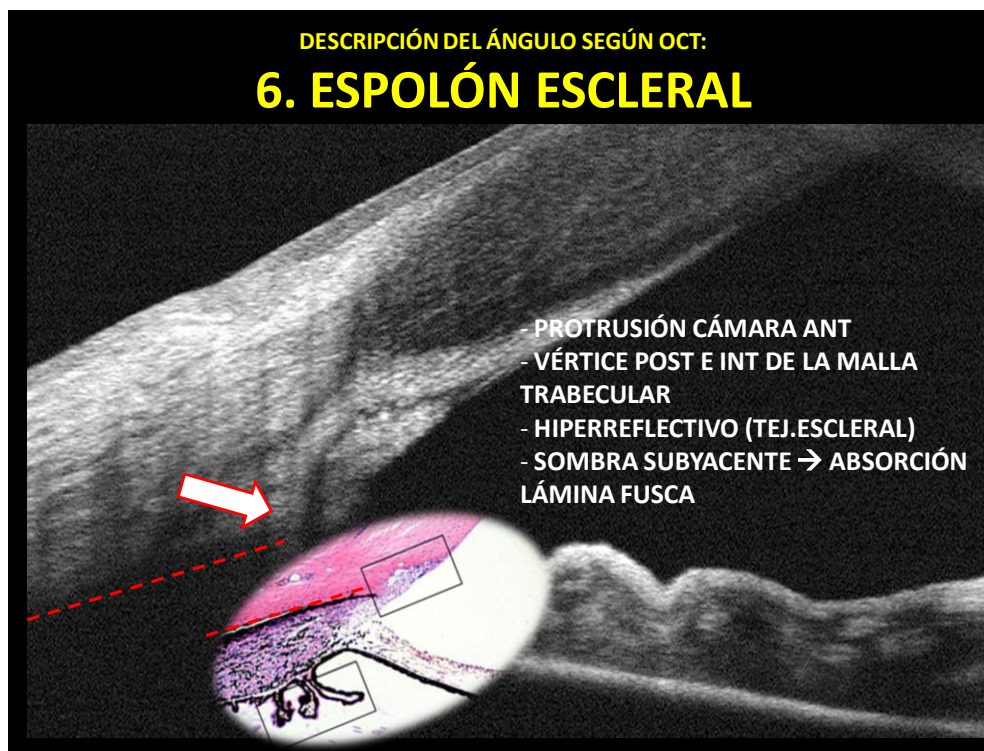


Figura 50: Descripción e identificación del espolón escleral mediante OCT.

7.-Ápex del ángulo:

Es un fondo de saco formado por el iris, el cuerpo ciliar y la malla trabecular. Se observa que cuanto más anterior es la inserción del iris, mejor es la visualización del ápex (figura 51).



Figura 51: Descripción e identificación del ápex del ángulo mediante OCT.

8.-Banda ciliar:

La banda ciliar forma parte del cuerpo ciliar. Une la raíz del iris, la cara anterior del cuerpo ciliar y el espolón escleral. Generalmente es muy difícil su visualización (figura 52).

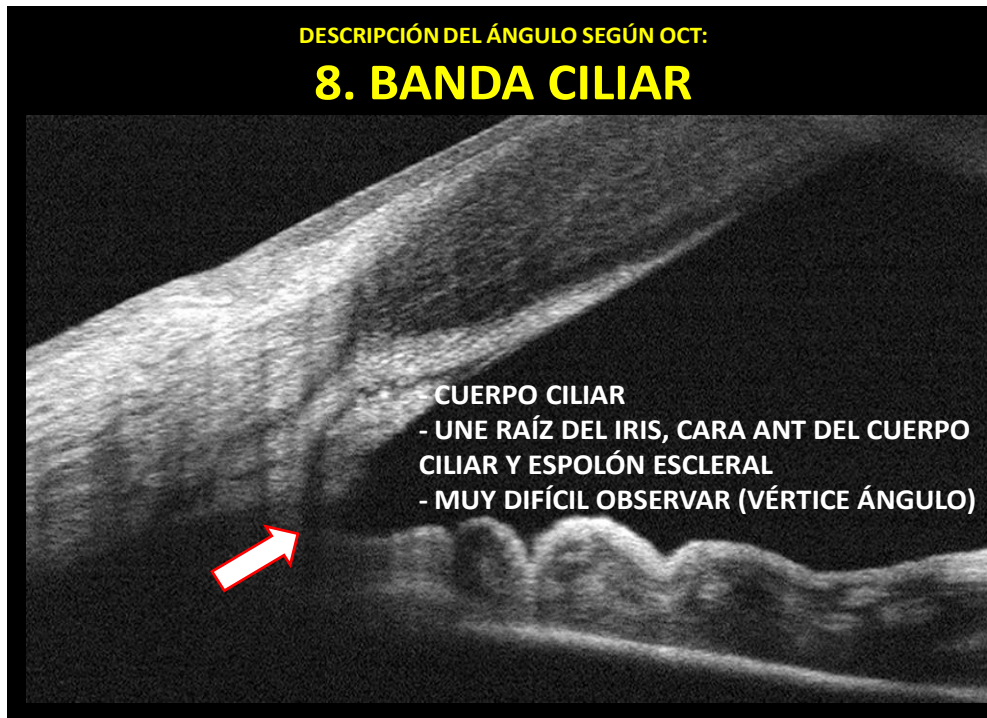


Figura 52: Descripción e identificación de la banda ciliar mediante OCT.

B) Protocolo de estudio para valorar la reproducibilidad de las medidas mediante OCT.

Se ha realizado un estudio para valorar la reproducibilidad de las medidas relacionadas con la abertura angular y con la malla trabecular mediante OCT.

En primer lugar se realizó un estudio de reproducibilidad intraobservador para valorar la concordancia y fiabilidad de las medidas. Y en segundo lugar se realizó un estudio de reproducibilidad interobservador.

El estudio de reproducibilidad se llevó a cabo en un subgrupo de 50 pacientes (100 ojos), escogidos al azar.

En la exploración de cada paciente, se tomaban 3 imágenes de cada uno de los cuadrantes (nasal y temporal) de ambos ojos, y se seleccionaba como referencia, la imagen de mejor calidad. Se medían entonces todos los parámetros estudiados.

En el estudio de reproducibilidad intraobservador 2 semanas más tarde, se volvían a medir dichos parámetros sobre la misma imagen que había sido escogida previamente como referencia.

En el estudio de reproducibilidad interobservador, 2 semanas más tarde de finalizar las 2 series de medidas del observador 1, el observador 2 realizaba las mediciones sobre la misma imagen obtenida durante la exploración del paciente y que había sido escogida como referencia.

Los parámetros estudiados fueron:

- Respecto a la malla trabecular: longitud, grosor y área.
- Respecto al ángulo: abertura angular, Distancia de abertura angular (AOD), Área iridotrabecular (TISA), Distancia Iris-Malla (DIM) y Área pretrabecular.

En cuanto al estudio de reproducibilidad intraobservador, el observador 1 (JFV) realizó una primera medición en el sector temporal y en el sector nasal del ojo derecho y del ojo izquierdo, realizando posteriormente una segunda medición en la que comparó la medida 1 con la medida 2 en el sector temporal de ambos ojos, y posteriormente la medida 1 con la medida 2 en el sector nasal de ambos ojos.

En cuanto al estudio de reproducibilidad interobservador, 2 semanas después de completar las medidas 1 y 2 del observador 1 (JFV) se compararon las mediciones obtenidas por éste con las medidas realizadas por el observador 2 (JGB). Se compararon las medidas del observador 1 con las del observador 2 en el cuadrante temporal de ambos ojos, y las medidas del observador 1 con las del observador 2 en el cuadrante nasal de ambos ojos.

C) Protocolo para el estudio de la abertura angular, de la malla trabecular y de los parámetros angulares.

En nuestro protocolo de estudio la exploración se ha realizado con la pupila en condiciones normales, con iluminación mesópica. Con el software en modo angle y hemos analizado 2 puntos: a las 3 y a las 9 horas (sectores temporal y nasal).

Las imágenes fueron obtenidas por un explorador experto (JFV), realizando 3 fotografías en los sectores analizados, nasal y temporal (0 y 180 °) con el paciente sentado, mirando al frente y con un buen reflejo corneal. El explorador elegía la imagen que presentaba mejor calidad y carente de artefactos. Debido a la baja calidad de las imágenes y a la necesidad de manipular los párpados los sectores superior e inferior no fueron incluidos en el estudio.

El tomógrafo incluye un software que permite realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de las imágenes.

Así mediante la OCT-SA hemos realizado diferentes medidas de la abertura angular y la malla trabecular como se describen a continuación:

Medidas relacionadas con la malla trabecular:

- Longitud
- Grosor
- Área

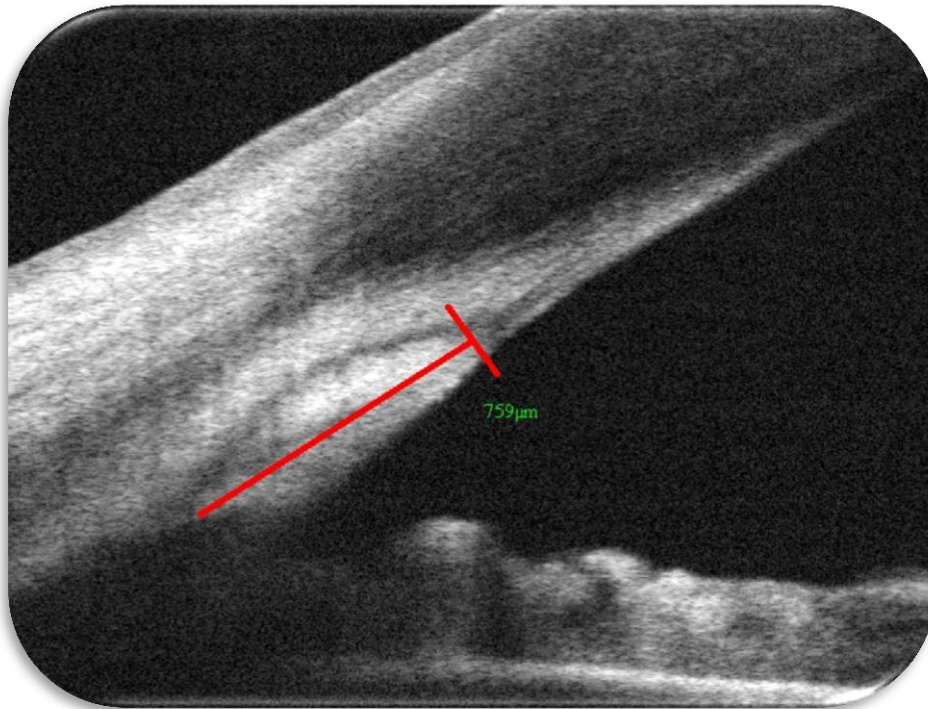


Figura 53: Medida de la longitud de la malla trabecular mediante OCT.



Figura 54: Medida del grosor de la malla trabecular mediante OCT.

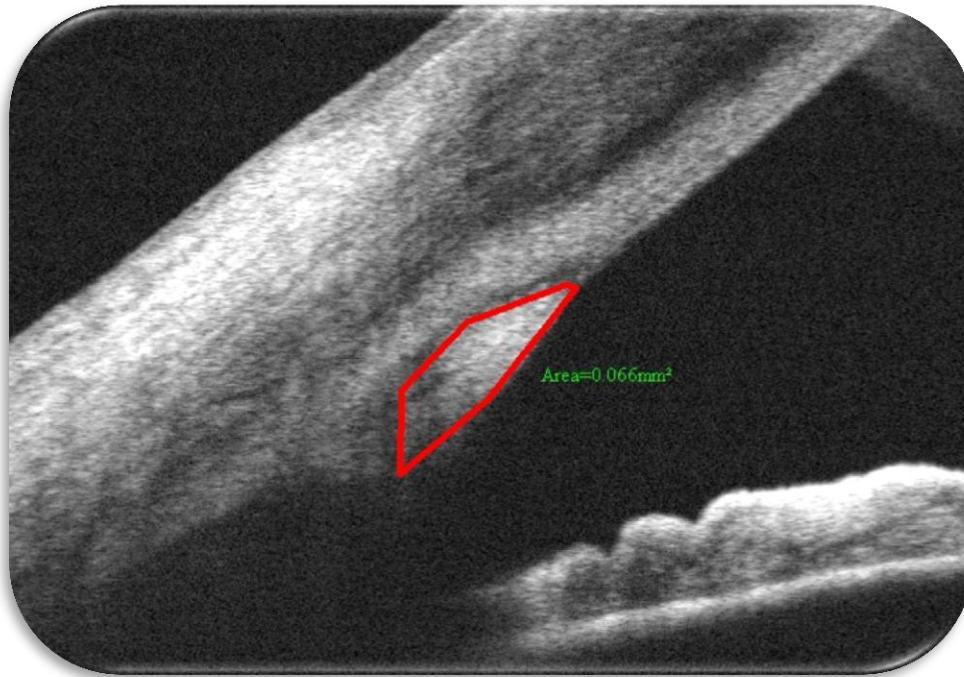


Figura 55: Medida del área de la malla trabecular mediante OCT.

Si la malla trabecular, no pudo ser identificada claramente, es decir si no se pudieron medir los 3 parámetros de cada imagen (longitud, grosor y área), no se recogieron los datos y se consideró como no identificable.

Medidas relacionadas con la abertura angular:

- Abertura angular en grados
- AOD
- TISA
- DIM
- Área pretrabecular
- Grosor del iris
- TICL

• Abertura angular en grados:

Partiendo del receso angular, y situando las dos ramas del ángulo, una en el punto de inicio de la malla trabecular (en su zona próxima a la línea de Schwalbe) y la otra en la línea que pasa por la superficie del iris, o en el caso de que existan, trazando esa línea por encima de la primera ondulación/elevación que aparece en el iris.

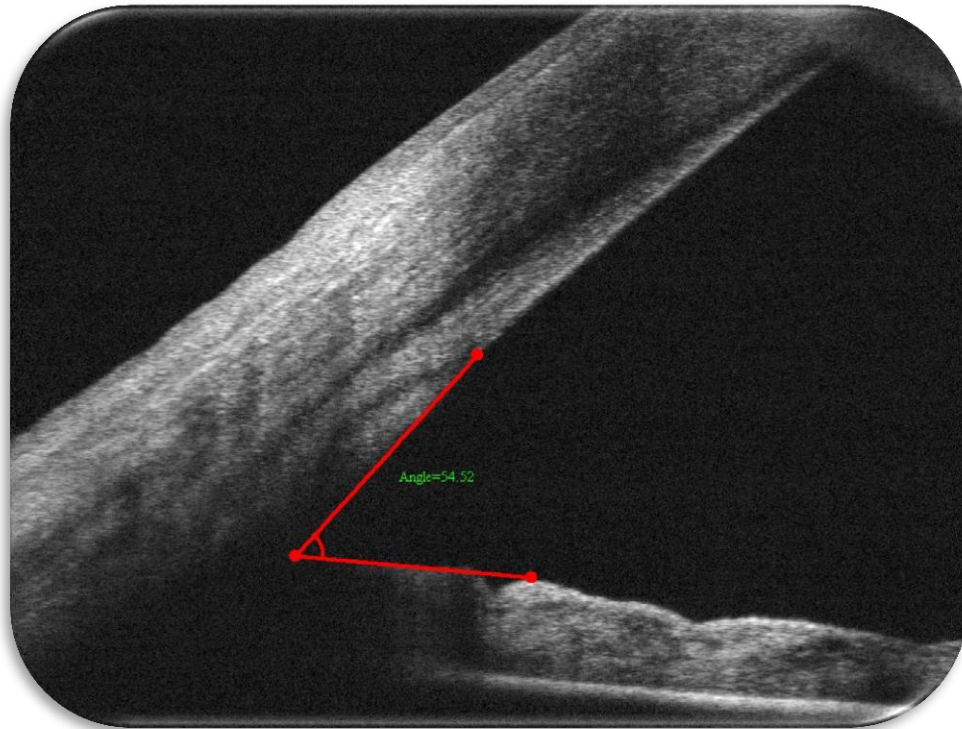


Figura 56: Medida de la abertura angular mediante OCT.

En algunos casos se visualizaban correctamente la córnea y el iris, pero no se pudieron medir debido a la dificultad de visualización de la zona del receso angular, ya que las medidas de haber sido realizadas hubieran resultado poco fiables.

- AOD - Distancia de apertura angular:

Distancia a 500 micras anterior al espolón escleral y el iris. Se obtiene trazando una línea desde el espolón escleral hasta el endotelio corneal a 500 y a continuación otra desde dicho punto del endotelio corneal perpendicular a éste, hasta la superficie del iris.

- TISA-Área irido-trabecular:

Área trapezoidal comprendida entre la AOD, la superficie del iris, el endotelio corneal y una línea perpendicular partiendo desde el espolón escleral hasta el iris.

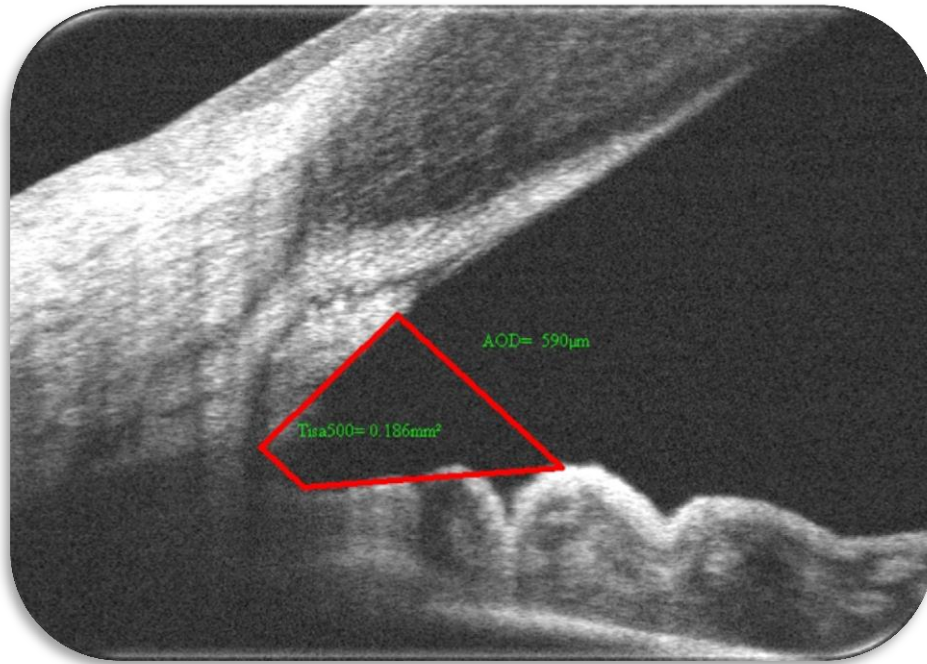


Figura 57: Medida del AOD y el TISA mediante OCT.

Además de las medidas estandarizadas recientemente en la literatura, como son, el AOD y el TISA, se han estudiado y propuesto otras medidas relacionadas con la abertura angular por considerarlas más exactas, como se explicará más adelante, y son el DIM y el área pretrabecular.

- *DIM –Distancia iris-malla:*

Línea perpendicular que se origina en el inicio de la malla trabecular y se dirige hacia el iris. Es una medida que proponemos como alternativa al AOD.

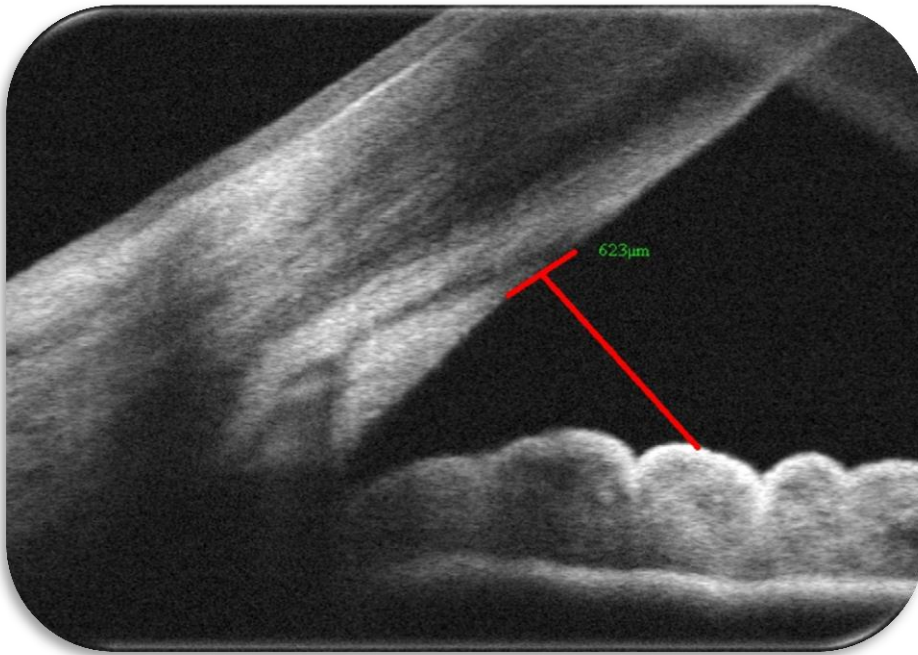


Figura 58: Medida del DIM mediante OCT.

- Área pretrabecular:

Área obtenida tras realizar sendas perpendiculares desde el inicio y el final de la malla, hasta la superficie del iris, adaptándose además esta línea de base a las irregularidades que presenta el iris. Representa la zona de cámara anterior en contacto con la malla trabecular.

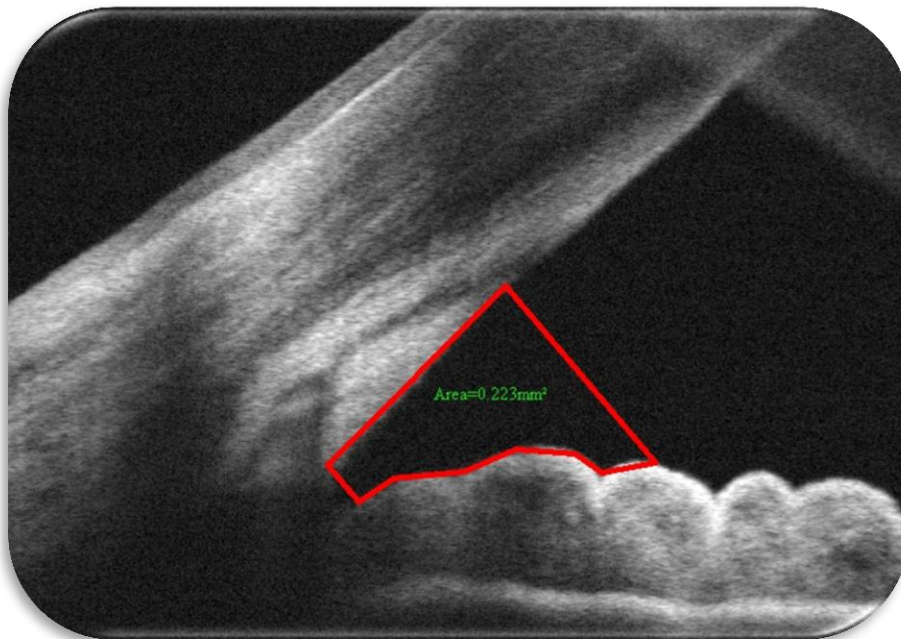


Figura 59: Medida del área pretrabecular mediante OCT.

MATERIAL Y MÉTODOS

El AOD, TISA, DIM, y área pretrabecular no se pudieron medir en determinados casos, en su mayoría debido a la mala visualización del espolón escleral y de la malla trabecular.

- Grosor del iris:

Medido en el punto del iris de la línea perpendicular que se traza a 500 micras desde el espolón escleral.

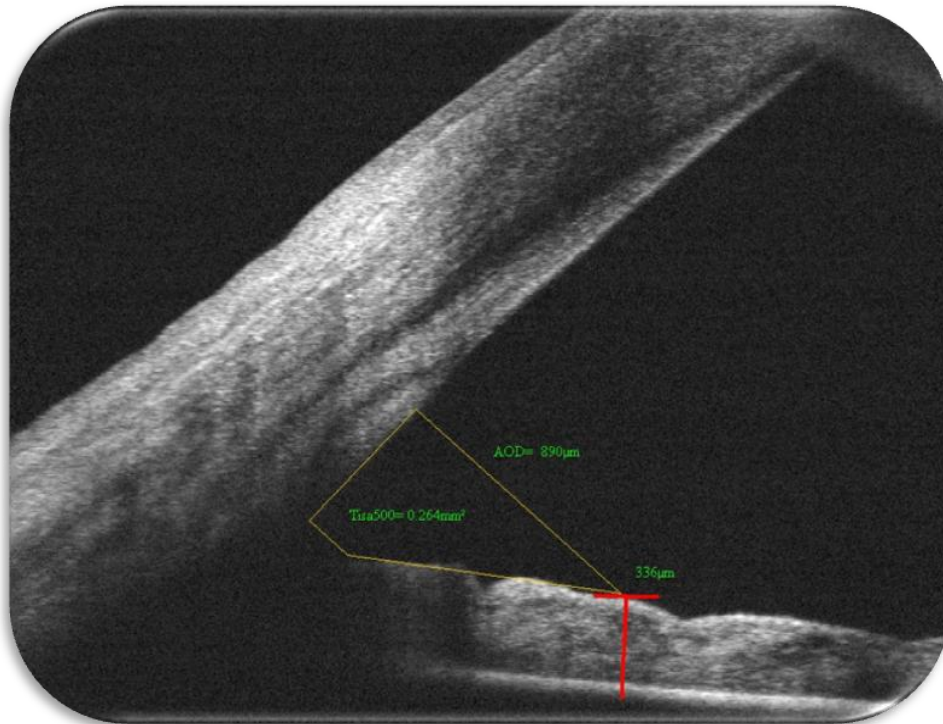


Figura 60: Medida del grosor del iris mediante OCT.

La principal causa por la que no se pudo medir el iris fue debido a la imposibilidad de visualización de la cara posterior del iris (figura 61).

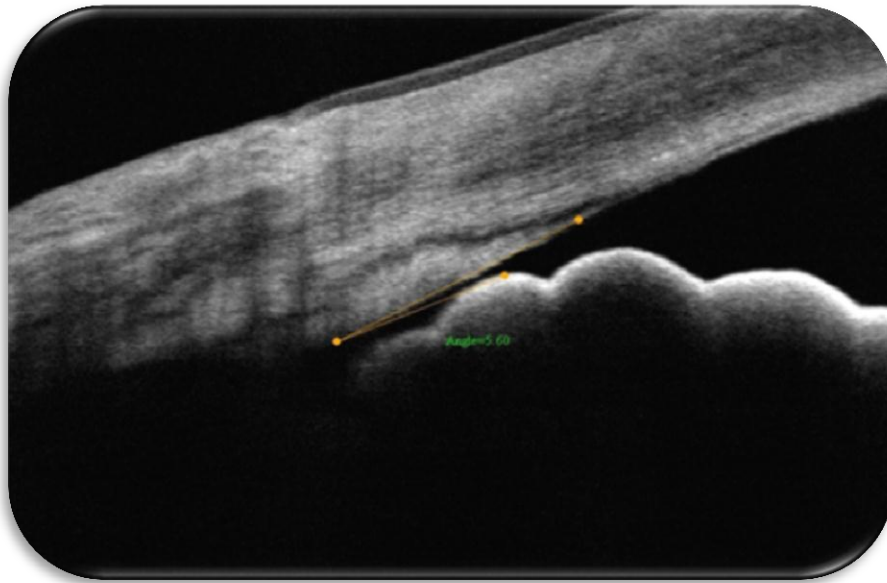


Figura 61: Imagen de OCT en la que no se visualiza la cara posterior del iris, y por tanto no se puede medir su grosor.

- Longitud de contacto iridotrabecular (TICL):

Distancia lineal de contacto entre el iris y la malla trabecular-endotelio corneal desde el espolón escleral. Sólo es medible en ángulos cerrados, ya que sólo en ellos existe este contacto.

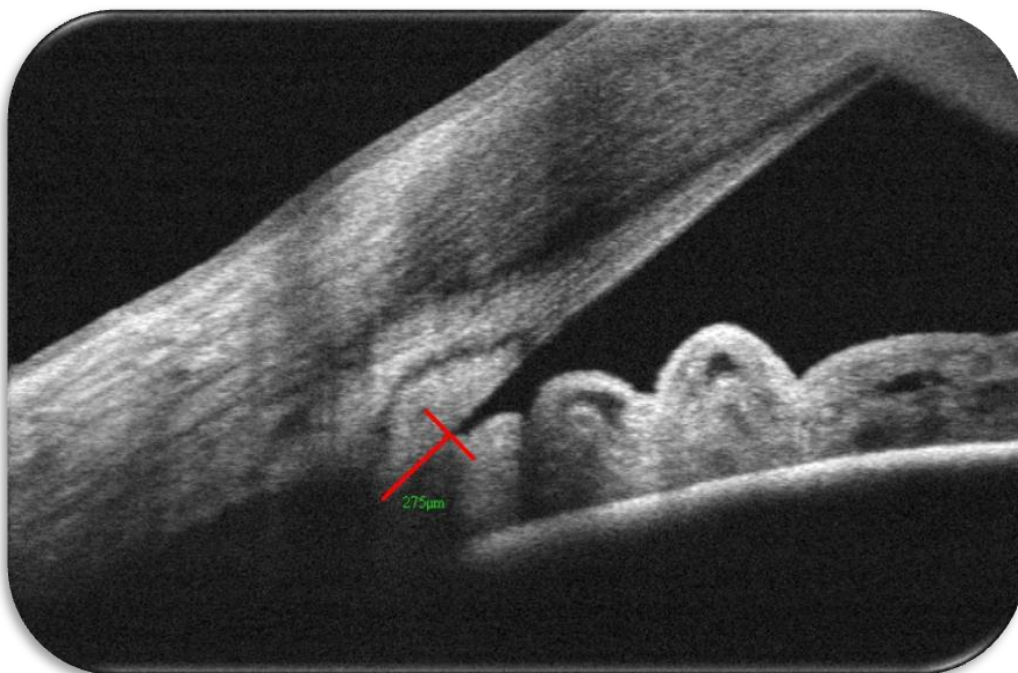


Figura 62: Medida del contacto iridotrabecular mediante OCT.

MATERIAL Y MÉTODOS

- Longitud de contacto iridotrabecular porcentual (TICL porcentual):

Es el porcentaje que representa la longitud de contacto iridotrabecular sobre la longitud total de la malla trabecular. Es una medida original que proponemos.

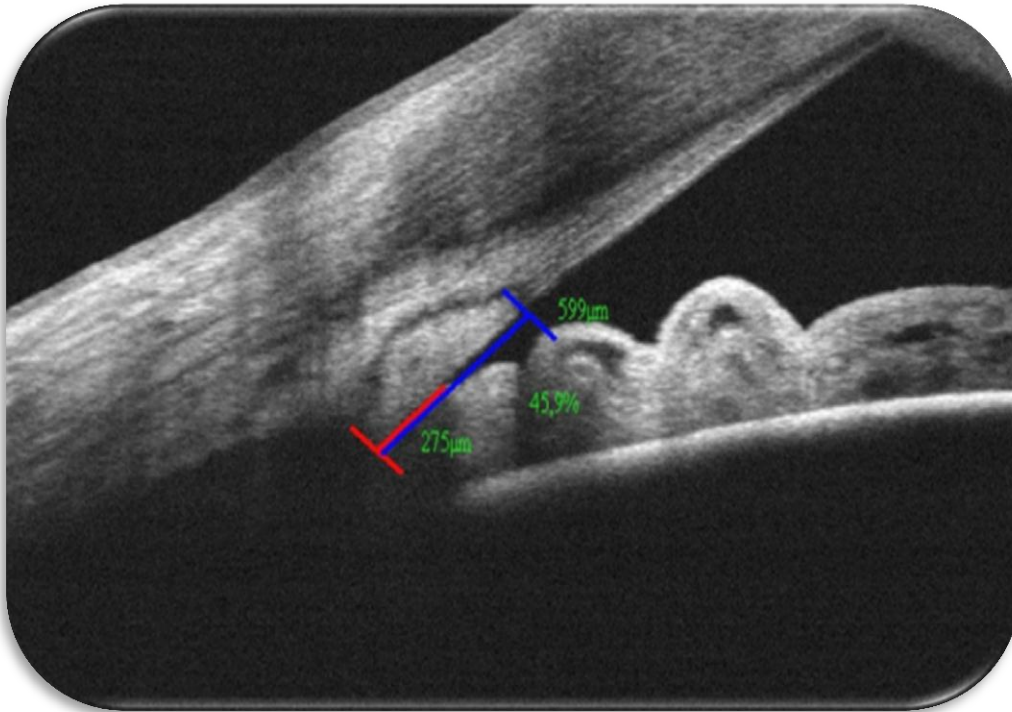


Figura 63: Medida del contacto iridotrabecular porcentual mediante OCT.

4. CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS.

Para trabajar con los resultados obtenidos en las diferentes exploraciones y perimetrías, se diseñó una base de datos a partir de una tabla de SPSS versión 18,0 (SPSS Inc.; Chicago, EEUU).

Para cada uno de los ojos a estudio se recogieron diversas variables, distribuidas en varios bloques:

- Primer bloque: Datos demográficos:

número de historia, iniciales del paciente, lateralidad(ojo derecho o izquierdo)

- Segundo bloque: Características oftalmológicas generales, presión intraocular y refracción (defecto refractivo esférico, defecto refractivo cilíndrico o astigmatismo, eje del astigmatismo y equivalente esférico).

- Tercer bloque: Datos de la exploración mediante Pentacam:

Profundidad de la cámara anterior, abertura angular temporal, abertura angular nasal, paquimetría, volumen de cámara anterior y diámetro pupilar.

- Cuarto bloque: Datos de la exploración mediante IOL Master:

Profundidad de la cámara anterior, distancia blanco-blanco, longitud axial y diámetro pupilar.

- Quinto bloque: Datos de la exploración mediante OCT-SA:

Longitud de la malla, grosor de la malla, área de la malla, abertura angular en grados, distancia de abertura angular (AOD), área iridotrabecular (TISA), distancia iris malla (DIM), área pretrabecular, longitud de contacto iridotrabecular (TICL) Y grosor del iris.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

El análisis estadístico se realizó con el SPSS (Statistical Package for Social Sciences, ver. 18.0; SPSS Inc., Chicago, IL), con la colaboración de la Unidad de apoyo a la Investigación del Hospital Universitario Clínico San Carlos.

5.1 Estadística descriptiva

Para describir las características de los sujetos incluidos en el estudio, así como los parámetros obtenidos en las diferentes exploraciones, las variables cuantitativas se resumen en su media y desviación estándar y las cualitativas con su distribución de frecuencias.

Se aplicó el test de Kolmogorov Smirnov para valorar la distribución de normalidad de las variables medidas.

5.2 Estadística analítica

Para analizar correlaciones entre las variables cuantitativas hemos realizado el coeficiente de correlación de Pearson, excepto en el caso del defecto refractivo esférico, el equivalente esférico, el AOD, el TISA, el DIM, y el área pretrabecular que

MATERIAL Y MÉTODOS

por no cumplir la distribución de la normalidad, hemos utilizado test no paramétricos, en concreto, la Rho de Spearman. El coeficiente de correlación se clasificó como: >0.8 muy fuerte o excelente, $0.6-0.8$ moderadamente fuerte, $0.4-0.6$ moderada baja, <0.4 escasa correlación.

Se utilizó el coeficiente kappa para el estudio de concordancia en cuanto a la identificación de las estructuras tanto intra como interobservador^{164,165}.

Se calcularon curvas ROC (característica operativa del receptor) para determinar la rentabilidad diagnóstica de la abertura angular y de los parámetros angulares.

Para contrastar la asociación entre variables cualitativas (sexo, edad categorizada y defecto refractivo esférico categorizado) y la abertura angular se aplicó un análisis de la varianza.

Se ajustaron modelos de regresión lineal de factores relacionados con la abertura angular. Se calculó el efecto mediante la pendiente del modelo y su IC95%. Se realizaron además diferentes modelos multivariantes para determinar la influencia de varios factores conjuntos en la determinación de la variabilidad final del ángulo.

Para evaluar la fiabilidad de las medidas de la OCT-SA, tanto intraobservador como interobservador se calculó el coeficiente de correlación intraclase en el caso de las variables cuantitativas. Para el estudio de la identificación de estructuras, tanto intraobservador como interobservador, en variables cualitativas, se utilizó el índice de Kappa.

Para evaluar la fiabilidad en el rango de la variable se realizó un gráfico de Bland Altman¹⁶⁶ y se calcularon los coeficientes de variación de las medias muestreadas.

En los contrastes de hipótesis se rechazó la hipótesis nula con un error tipo I o error alfa menor a 0,05. No se corrigió la p para contrastes múltiples dado que el estudio es exploratorio.

RESULTADOS

RESULTADOS

CAPÍTULO 1: ESTUDIO DE REPRODUCIBILIDAD.

A continuación se exponen los resultados del estudio de reproducibilidad, que ha sido realizado en 50 pacientes (100 ojos), con una edad media de $54,62 \pm 15,67$ años (rango de 18 a 82), con la distribución que se muestra en la siguiente gráfica.

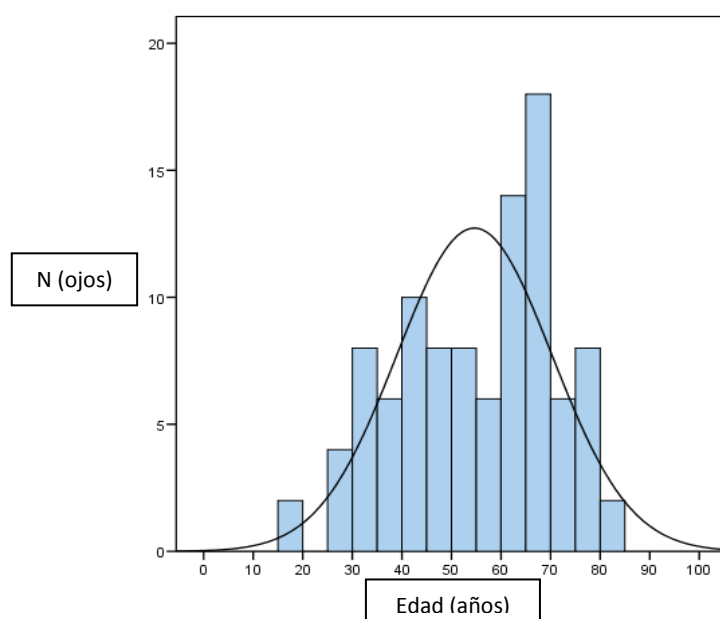


Figura 64: Distribución de la edad en la población del estudio de reproducibilidad.

En cuanto al sexo, el 60,3% eran mujeres y el 39,7% hombres.



Figura 65: Distribución del sexo en la población del estudio de reproducibilidad.

El defecto refractivo esférico medio fue de $-0,57 \pm 3,11$ dioptrías (rango -9,25 a 4,5).

RESULTADOS

Los parámetros estudiados en un subgrupo de 50 pacientes (100 ojos), escogidos al azar, fueron:

- Respecto a la malla trabecular: longitud, grosor y área
- Respecto al ángulo: abertura angular, Distancia de abertura angular (AOD), Área iridotrabecular (TISA), Distancia Iris-Malla (DIM) y Área pretrabecular.

La exposición de los resultados de reproducibilidad sigue el orden que se detalla a continuación:

1.1 ESTUDIO DE REPRODUCIBILIDAD INTRAOBSERVADOR:

- Resultados de la concordancia existente en el sector temporal entre la primera y la segunda medida del mismo observador.
- Resultados de la concordancia existente en el sector nasal entre la primera y la segunda medida del mismo observador.

1.2 ESTUDIO DE REPRODUCIBILIDAD INTEROBSERVADOR:

- Resultados de la concordancia existente en el sector temporal entre el observador 1 y el observador 2.
- Resultados de la concordancia existente en el sector nasal entre el observador 1 y el observador 2:

1. ESTUDIO DE REPRODUCIBILIDAD INTRAOBSERVADOR:

- **Resultados de la concordancia intraobservador existente en el sector temporal entre la primera y la segunda medida del mismo observador:**

	Media \pm D.E	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN INTRACLASE	IC 95%	P
Longitud Malla medida 1	503,74 \pm 99,65	0,968	0,952 – 0,978	<0,0001
Longitud Malla medida 2	498,45 \pm 98,53			
Grosor Malla medida 1	173,93 \pm 25,84	0,826	0,752 – 0,879	<0,0001
Grosor Malla medida 2	173,63 \pm 24,44			
Área Malla medida 1	0,067 \pm 0,017	0,889	0,836 – 0,922	<0,0001
Área Malla medida 2	0,066 \pm 0,016			

Tabla 6: Resultados de la concordancia intraobservador en las medidas de la malla trabecular en el sector temporal.

	Media \pm D.E	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN INTRACLASE	IC 95%	P
Abertura angular medida 1	33,66 \pm 11,38	0,979	0,969 – 0,986	<0,0001
Abertura angular medida 2	33,69 \pm 10,94			
AOD medida 1	491,16 \pm 281,25	0,991	0,987 – 0,994	<0,0001
AOD medida 2	492,02 \pm 280,84			
TISA medida 1	0,178 \pm 0,104	0,962	0,944 – 0,974	<0,0001
TISA medida 2	0,181 \pm 0,112			
DIM medida 1	483,89 \pm 268,60	0,993	0,990 – 0,995	<0,0001
DIM medida 2	481,92 \pm 268,18			
Área pretrab. medida 1	0,183 \pm 0,12	0,987	0,981 – 0,991	<0,0001
Área pretrab. medida 2	0,180 \pm 0,11			

Tabla 7: Resultados de la concordancia intraobservador en las medidas del ángulo en el sector temporal.

RESULTADOS

- **Resultados de la concordancia intraobservador existente en el sector nasal entre la primera y la segunda medida:**

	Media \pm D.E	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN INTRACLASE	IC 95%	P
Longitud Malla medida 1	448,32 \pm 73,10	0,933	0,902 – 0,955	<0,0001
Longitud Malla medida 2	442,70 \pm 72,56			
Grosor Malla medida 1	171,67 \pm 24,20	0,837	0,766 – 0,887	<0,0001
Grosor Malla medida 2	172,58 \pm 25,34			
Área Malla medida 1	0,060 \pm 0,012	0,832	0,804 – 0,876	<0,0001
Área Malla medida 2	0,058 \pm 0,012			

Tabla 8: Resultados de la concordancia intraobservador en las medidas de la malla trabecular en el sector nasal.

	Media \pm D.E	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN INTRACLASE	IC 95%	P
Abertura angular medida 1	34,52 \pm 9,96	0,971	0,967 – 0,980	<0,0001
Abertura angular medida 2	34,38 \pm 10,12			
AOD medida 1	493,20 \pm 269,81	0,987	0,981 – 0,992	<0,0001
AOD medida 2	484,90 \pm 256,22			
TISA medida 1	0,180 \pm 0,097	0,986	0,979 – ,0990	<0,0001
TISA medida 2	0,177 \pm 0,093			
DIM medida 1	452,19 \pm 237,96	0,989	0,984 – 0,993	<0,0001
DIM medida 2	448,31 \pm 235,02			
Área pretrab. medida 1	0,159 \pm 0,09	0,983	0,974 – 0,988	<0,0001
Área pretrab. medida 2	0,155 \pm 0,09			

Tabla 9: Resultados de la concordancia intraobservador en las medidas del ángulo en el sector nasal.

2. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE REPRODUCIBILIDAD INTEROBSERVADOR:

- **Resultados de la concordancia interobservador existente en el sector temporal entre el observador 1 y el observador 2:**

	Media \pm D.E	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN INTRACLASE	IC 95%	P
Longitud Malla observador 1	503,74 \pm 99,65	0,933	0,902 – 0,954	<0,0001
Longitud Malla observador 2	497,12 \pm 96,26			
Grosor Malla observador 1	173,93 \pm 25,84	0,750	0,650 – 0,824	<0,0001
Grosor Malla observador 2	177,76 \pm 26,97			
Área Malla observador 1	0,067 \pm 0,017	0,831	0,758 – 0,883	<0,0001
Área Malla observador 2	0,065 \pm 0,020			

Tabla 10: Resultados de la concordancia interobservador en las medidas de la malla trabecular en el sector temporal.

RESULTADOS

	Media \pm D.E	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN INTRACLASE	IC 95%	P
Abertura angular observador 1	33,66 \pm 11,38	0,954	0,933 – 0,969	<0,0001
Abertura angular observador 2	33,03 \pm 10,55			
AOD observador 1	491,16 \pm 281,25	0,975	0,964 – 0,983	<0,0001
AOD observador 2	480,15 \pm 295,72			
TISA observador 1	0,178 \pm 0,104	0,947	0,922 – 0,964	<0,0001
TISA observador 2	0,174 \pm 0,116			
DIM observador 1	483,89 \pm 268,60	0,972	0,958 – 0,981	<0,0001
DIM observador 2	475,33 \pm 275,98			
Área pretrab. observador 1	0,183 \pm 0,120	0,960	0,942 – 0,973	<0,0001
Área pretrab. observador 2	0,175 \pm 0,124			

Tabla 11: Resultados de la concordancia interobservador en las medidas del ángulo en el sector temporal.

- **Resultados de la concordancia interobservador existente en el sector nasal entre el observador 1 y el observador 2:**

	Media \pm D.E	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN INTRACLASE	IC 95%	P
Longitud Malla observador 1	448,32 \pm 73,10	0,932	0,901 – 0,954	<0,0001
Longitud Malla observador 2	441,12 \pm 74,14			
Grosor Malla observador	171,67 \pm 24,20	0,754	0,655 – 0,827	<0,0001
Grosor Malla observador 2	174,88 \pm 25,77			
Área Malla observador 1	0,060 \pm 0,012	0,774	0,682 – 0,842	<0,0001
Área Malla observador 2	0,057 \pm 0,013			

Tabla 12: Resultados de la concordancia interobservador en las medidas de la malla trabecular en el sector nasal.

RESULTADOS

En cuanto a los resultados referentes a la abertura angular:

	Media \pm D.E	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN INTRACLASE	IC 95%	P
Abertura angular observador 1	34,52 \pm 9,96	0,958	0,938 – 0,971	<0,0001
Abertura angular observador 2	33,96 \pm 9,97			
AOD observador 1	493,20 \pm 269,81	0,982	0,974 – 0,988	<0,0001
AOD observador 2	479,10 \pm 262,46			
TISA observador 1	0,180 \pm 0,097	0,970	0,955 – 0,979	<0,0001
TISA observador 2	0,170 \pm 0,097			
DIM observador 1	452,19 \pm 237,96	0,975	0,963 – 0,983	<0,0001
DIM observador 2	446,69 \pm 229,13			
Área pretrab. observador 1	0,159 \pm 0,099	0,970	0,956 – 0,980	<0,0001
Área pretrab. observador 2	0,150 \pm 0,092			

Tabla 13: Resultados de la concordancia interobservador en las medidas del ángulo en el sector nasal.

RESULTADOS

CAPÍTULO 2: MORFOLOGÍA DEL ÁNGULO CAMERULAR MEDIANTE OCT.

En éste capítulo se describe en primer lugar el estudio de las estructuras observadas en la imagen obtenida mediante tomografía de coherencia óptica, cuantificando su presencia de identificación.

Además se exponen los resultados de concordancia en cuanto a la identificación de estructuras tanto intra como interobservador.

Y por último, se exponen los resultados de la correlación existente entre las medidas de los sectores nasal y temporal.

2.1 IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS DEL ÁNGULO IRIDOCORNEAL MEDIANTE OCT.

En ésta primera parte del trabajo, se ha realizado un estudio prospectivo de 507 ojos de 267 pacientes consecutivos que cumplían los criterios de inclusión y exclusión descritos en el apartado de material y métodos.

La edad media para los ojos que componían la población fue de 41.3 ± 14.3 años, siendo el rango desde los 20 hasta los 80 años.

En cuanto al sexo, el 57,2% eran mujeres y el 42,8% hombres.

RESULTADOS

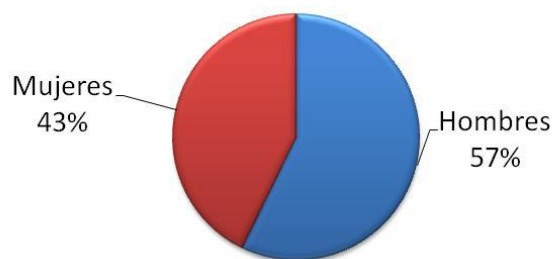


Figura 66: Distribución por sexo de la población del estudio de identificación de estructuras.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la identificación de las estructuras que componen el ángulo iridocorneal o camerular (tabla 14 y figura 67).

El limbo externo externo, la transición córneo escleral y la línea de Schwalbe se han identificado en un 99, 97 y 93% respectivamente de las imágenes, siendo identificado el complejo malla trabecular-canal de Schlemm en el 91% de los casos.

El espolón escleral pudo ser identificado en el 85% de los casos, el ápex del ángulo o receso angular en un 35% y la banda ciliar en un 18%.

A continuación se muestra una tabla con los resultados del porcentaje de identificación total de las estructuras:

ESTRUCTURAS	GRADO 1	GRADO 2	IDENTIFICACIÓN TOTAL
1. Limbo externo	91%	8%	99%
2. Transición córneo-escleral	88%	9%	97%
3. Línea de Schwalbe	80%	13%	93%
4. Malla Trabecular y 5. Canal de Schlemm	80%	11%	91%
6. Espolón escleral	65%	20%	85%
7. Ápex del ángulo	15%	20%	35%
8. Banda ciliar	4%	14%	18%

Tabla 14: Porcentaje de identificación de las estructuras del ángulo iridotrabecular mediante OCT para el total de imágenes.



Figura 67: Porcentaje de identificación mediante OCT de las estructuras angulares.

RESULTADOS

La identificación de las estructuras para los sectores nasal y temporal fue la siguiente:

ESTRUCTURAS	IDENTIFICACIÓN TOTAL	
	SECTOR <u>TEMPORAL</u>	SECTOR <u>NASAL</u>
1. Limbo externo	99%	99%
2. Transición córneo-escleral	97%	97%
3. Línea de Schwalbe	96%	90%
4 y 5. Malla Trabecular y canal de Schlemm	93%	89%
6. Espolón escleral	87%	83%
7. Ápex del ángulo	38%	32%
8. Banda ciliar	20%	16%

Tabla 15: Porcentaje de identificación de las estructuras del ángulo iridotrabecular mediante OCT para los sectores temporal y nasal.

2.2 CONCORDANCIA EN LA IDENTIFICACIÓN TOTAL DE ESTRUCTURAS:

Se realizó un estudio de fiabilidad para valorar la concordancia existente en la identificación de estructuras tanto intra como interobservador.

Los resultados fueron los siguientes:

- **Concordancia intraobservador:**

La concordancia intraobservador para la identificación de estructuras fue de $k=0,93$ para el total de las imágenes estudiadas.

- **Concordancia interobservador:**

La concordancia interobservador para la identificación de estructuras fue de $k=0,88$ para el total de las imágenes estudiadas.

2.3 ESTUDIO DE CORRELACIÓN ENTRE LAS MEDIDAS EN LOS SECTORES TEMPORAL Y NASAL:

Se ha analizado la relación existente entre las medidas de los sectores nasal y temporal.

Este estudio se realizó con la misma población de pacientes, elegidos al azar, que formaron parte del estudio de reproducibilidad.

Se observó una gran correlación entre las medidas realizadas en el sector temporal y nasal de ambos ojos respecto a la abertura angular, por lo que para la simplificación de la exposición de datos y correlaciones, en el resto de capítulos, se expresan los resultados obtenidos en el sector temporal dada la mejor visualización del mismo.

Sin embargo, se observó una correlación más débil entre las medidas obtenidas en los sectores nasal y temporal respecto a la malla trabecular tanto en su longitud, grosor y área.

- **Correlación entre el sector temporal y el sector nasal:**

	Media \pm D.E	CORRELACIÓN	P
Longitud Malla temporal medida 1	503,74 \pm 99,65	0,299	0,002
Longitud Malla nasal medida 1	448,32 \pm 73,10		
Grosor Malla temporal medida 1	173,93 \pm 25,84	0,279	0,005
Grosor Malla nasal medida 1	171,83 \pm 24,14		
Área Malla temporal medida 1	0,067 \pm 0,017	0,270	0,006
Área Malla nasal medida 1	0,060 \pm 0,012		

Tabla 16: Resultados de la correlación de las medidas de la malla trabecular entre el sector temporal y nasal.

RESULTADOS

	Media \pm D.E	CORRELACIÓN	P
Abertura angular temporal medida 1	33,66 \pm 11,38	0,872	<0,0001
Abertura angular nasal medida 1	34,56 \pm 9,92		
AOD temporal medida 1	491,16 \pm 281,25	0,906	<0,0001
AOD nasal medida 1	492,01 \pm 268,70		
TISA temporal medida 1	0,178 \pm 0,104	0,915	<0,0001
TISA nasal medida 1	0,179 \pm 0,096		
DIM temporal medida 1	483,89 \pm 268,60	0,904	<0,0001
DIM nasal medida 1	451,33 \pm 236,92		
Área pretrab. Temporal medida 1	0,183 \pm 0,12	0,825	<0,0001
Área pretrab. Nasal medida 1	0,158 \pm 0,09		

Tabla 17: Resultados de la correlación de las medidas del ángulo entre el sector temporal y nasal.

RESULTADOS

CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN GENERAL A ESTUDIO.

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN.

En el estudio se incluyeron 2.012 ojos de 1.006 pacientes. Todos ellos eran sujetos caucásicos, que cumplían los criterios de inclusión y no presentaban ninguno de los criterios de exclusión.

La edad media de los pacientes ($n = 1.006$ pacientes) fue de $49,09 \pm 15,21$ años (rango de 18 a 84), con la distribución de normalidad que se muestra en la siguiente gráfica.

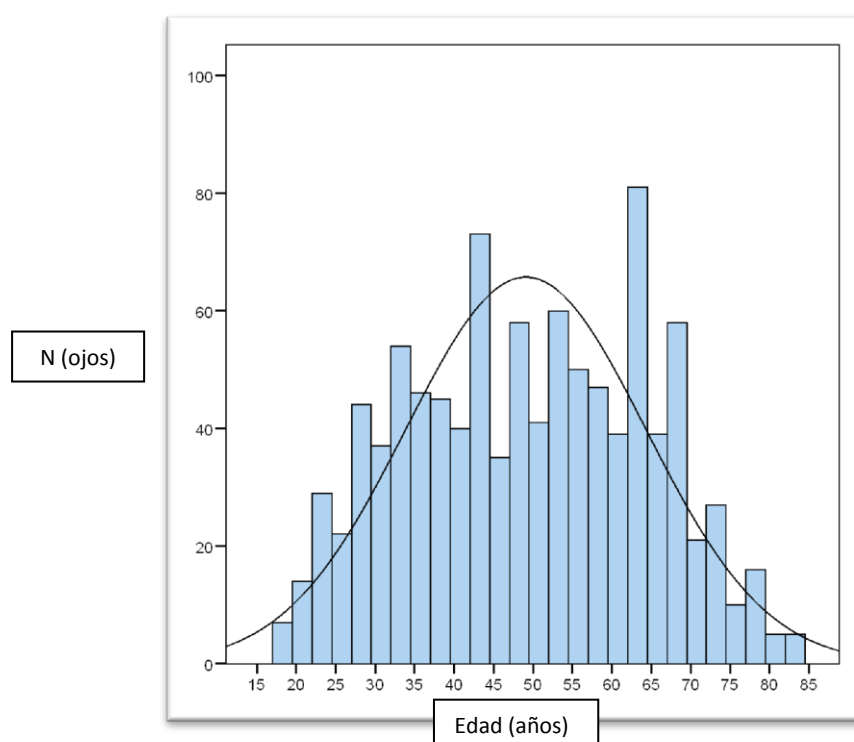


Figura 68: Distribución de la edad en la población general estudiada.

En cuanto al sexo ($n = 1.006$ pacientes) 615 sujetos eran mujeres (1230 ojos), representando el 61,14% de la población, y 391 varones (782 ojos), representando el 38,86% del total de la población.

RESULTADOS



Figura 69: Distribución por sexo de la población general estudiada.

La presión intraocular media fue de $15,86 \pm 3,47$ mmHg (rango de 6 a 27), cumpliendo una distribución de normalidad ($n=1.958$). Como hemos resaltado previamente, ningún paciente se instilaba algún tratamiento tópico. En 54 ojos no se pudo medir la PIO con éste dispositivo debido a la mala colaboración del paciente.

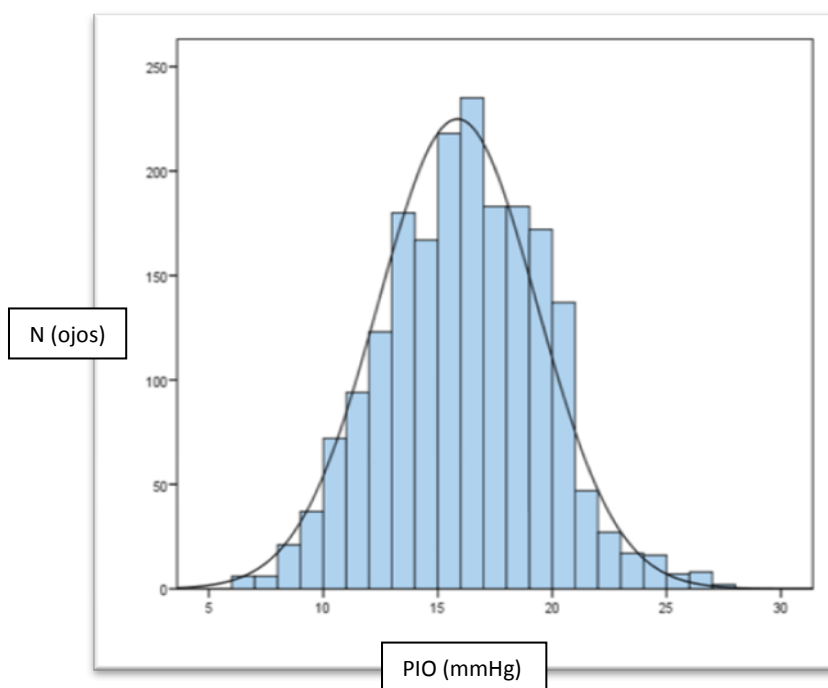


Figura 70: Distribución de la PIO en la población general estudiada.

El defecto refractivo esférico medio ($n= 2.012$ ojos) fue de $-0,42 \pm 3,54$ dioptrías (rango de -16,25 a 10,25), presentando la distribución una ligera asimetría hacia la derecha.

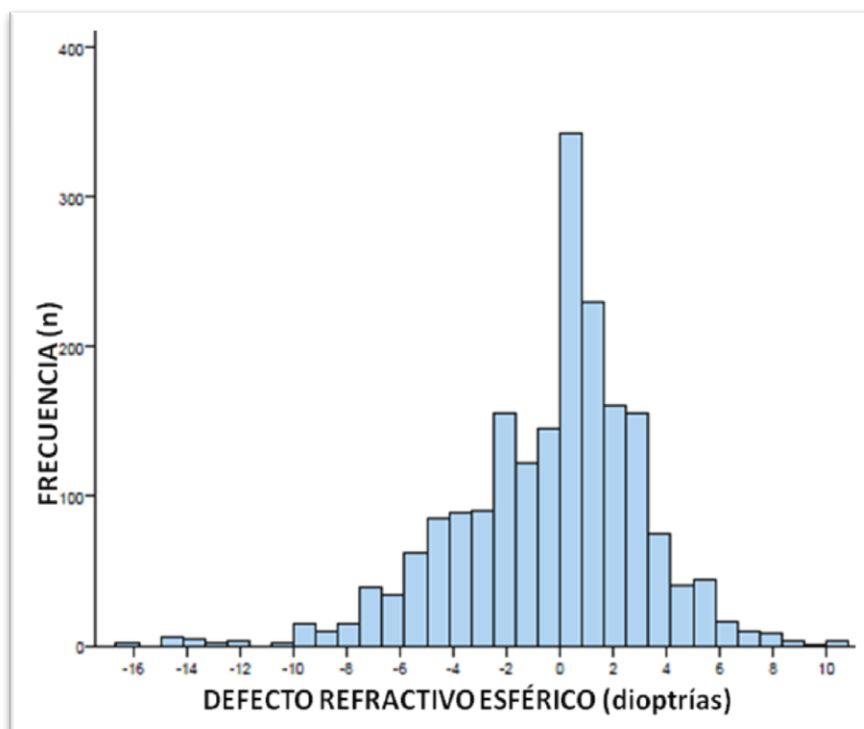


Figura 71: Distribución del defecto refractivo esférico en la población general estudiada.

El equivalente esférico medio fue de $-0,91 \pm 3,61$ dioptrías (rango -18 a 9,25).

3.2 VALORES OBTENIDOS MEDIANTE PENTACAM®:

Los valores obtenidos mediante el Pentacam® para el estudio de la profundidad de la cámara anterior, la abertura angular en grados en los sectores nasal y temporal, la paquimetría, el volumen de la cámara anterior y el diámetro pupilar, se exponen a continuación en la siguiente tabla.

RESULTADOS

PENTACAM	PROF. C.A (mm)	ANG TEMP. (grados)	ANG NASAL (grados)	PAQUIMETRÍA (micras)	VOLUMEN C.A (mm ³)	DIÁMETRO PUPILAR (mm)
MEDIA	3,35	36,28	36,29	549,01	167	2,96
DESV. EST.	0,43	7,37	8,09	32,96	47,7	0,62
MÁXIMO	4,64	74,20	64	643	278	5,51
MÍNIMO	2,07	4,10	22	471	67	1,71

Tabla 18: Resultados obtenidos mediante la exploración con Pentacam®.

Con respecto a la profundidad de la C.A y la paquimetría, se pudieron medir en el 97,9 y en el 98% de los ojos estudiados (1.971 y 1.973 ojos sobre un total de 2.012). Los datos del volumen de la cámara anterior y el diámetro pupilar se pudieron recoger en ambos casos en 1.974 (98,1% del total de ojos estudiados).

En cuanto a la abertura angular, se pudieron recoger los datos de 1.937 ojos (96,2%) en el sector temporal y de 1.940 ojos (96,4%) en el sector nasal, sobre un total de 2012 ojos. Por tanto, en 75 y 72 ojos respectivamente (3,72% y 3,57%), los valores que ofrecía el software no fueron recogidos por no ser fiables dichas mediciones.

3.3 VALORES OBTENIDOS MEDIANTE IOL MASTER:

Los valores obtenidos mediante el IOL-Master tras determinar la profundidad de la cámara anterior, la distancia blanco-blanco, la longitud axial, y el diámetro pupilar, se muestran en la siguiente tabla:

IOL MASTER	PROF C.A (mm)	LONGITUD AXIAL (mm)	BLANCO- BLANCO (mm)	DIÁMETRO PUPILAR (mm)
MEDIA	3,31	23,89	12,08	4,24
DESV. EST.	0,42	1,56	0,42	1,00
MÁXIMO	4,51	33,82	13,40	9,10
MÍNIMO	2,11	20,02	10,80	1,70

Tabla 19: Resultados obtenidos mediante la exploración con IOL Master®.

Se pudo medir la profundidad de la cámara anterior en 1.979 ojos de un total de 2.012, (representando el 98,3%). El dispositivo realizó la medida de la longitud axial en 1.975 ojos, lo que supone un 98,1% del total. El diámetro pupilar se pudo medir en el 97,4%, que eran 1.960 ojos del total. Por último, la medida del blanco-blanco se pudo medir en el 96,6% total de ojos (1.945 ojos de un total de 2.012).

En los casos en los que no se pudo obtener el dato de la medición en la primera exploración, se realizó una segunda exploración, desistiendo en el caso de no ofrecer entonces la medida estudiada.

3.4 VALORES OBTENIDOS MEDIANTE OCT-SA RTVue 100 Fourier Domain:

En cuanto a los valores obtenidos con OCT, dividimos los resultados en 2 grupos: una primera tabla que recoge las medidas relacionadas con la malla trabecular, como son su longitud, grosor y área; y una segunda tabla en la que exponemos los resultados relacionados con el ángulo como son la abertura angular en grados, el AOD (acrónimo de angle opening distance o distancia de abertura angular), el TISA (acrónimo de trabecular iris space area o área iridotrabecular), el DIM (distancia iris malla), el área pretrabecular y además los resultados del grosor del iris.

RESULTADOS

OCT FOURIER DOMAIN	LONGITUD M.T. (micras)	GROSOR M.T. (micras)	ÁREA M.T. (mm ²)
MEDIA	504,91	170,41	0,067
DESV. EST.	103,21	29,29	0,019
MÁXIMO	904	276	0,160
MÍNIMO	263	18	0,020

Tabla 20: Resultados obtenidos mediante la exploración con OCT RTVue® de la malla trabecular.

Se ha podido medir la malla trabecular en el 91% de los casos, en 1.831 ojos de un total de 2.012. En un 9% de los casos, no se realizaron medidas, ya que no se pudieron medir con la imagen obtenida los 3 parámetros incluidos en el estudio (longitud, grosor y área).

OCT FOURIER DOMAIN	ABERTURA ANGULAR (grados)	AOD (micras)	TISA (mm ²)	DIM (micras)	ÁREA PRETRABECU LAR (mm ²)	GROSOR IRIS (micras)
MEDIA	35,80	539,13	0,193	540,28	0,215	395,29
DESV. EST.	12,78	287,83	0,103	278,68	0,130	72,24
MÁXIMO	78,71	1770	0,62	1720	0,97	910
MÍNIMO	1,42	15	0,02	19	0,01	194

Tabla 21: Resultados obtenidos mediante la exploración con OCT RTVue® del ángulo camerular.

La OCT-SA RTVue nos ha permitido medir la abertura angular camerular en 1.978 ojos del total de 2.012, lo que supone el 98,3% de los ojos. En el 1,7% restante se visualizaban correctamente la córnea y el iris, pero no se pudieron medir debido a la dificultad de visualización de la zona del receso angular, ya que las medidas de haber sido realizadas hubieran resultado poco fiables.

El AOD, TISA, DIM, y área pretrabecular, al ser medidas tan relacionadas entre sí, se pudieron medir en el mismo porcentaje de los casos, siendo éste un 90,8% de los mismos (1.827 ojos sobre un total de 2.012). En cuanto a los casos en los que no se pudieron realizar las medidas, en su mayoría fue a causa de la mala visualización del espolón escleral y de la malla trabecular.

El grosor del iris se pudo medir en 1.825 ojos sobre el total, lo que supuso un 90,7%.

3.5 DESCRIPCIÓN DE OTROS PARÁMETROS ESTUDIADOS

Se exponen los resultados de los principales parámetros subdivididos entre los ojos derechos y los ojos izquierdos, mostrando además la correlación entre los mismos.

Parámetro	Ojo	Media \pm D.E	Correlación (r)
Prof. C.A Pentacam	D	3,35 \pm 0,43 mm	0,967
	I	3,35 \pm 0,43 mm	
Prof. C.A IOL Master	D	3,30 \pm 0,42 mm	0,962
	I	3,31 \pm 0,42 mm	
Longitud axial	D	23,91 \pm 1,57 mm	0,941
	I	23,87 \pm 1,54 mm	
Defecto refractivo esférico	D	-0,45 \pm 3,56 dioptrías	0,907
	I	-0,40 \pm 3,55 dioptrías	
Volumen C.A	D	161,14 \pm 47,82 mm ³	0,979
	I	161,84 \pm 48,00 mm ³	
PIO	D	15,86 \pm 3,45 mmHg	0,741
	I	15,85 \pm 3,49 mmHg	
Paquimetría	D	548,71 \pm 32,50 micras	0,943
	I	550,58 \pm 31,88 micras	
Diámetro pupilar Pentacam	D	3,01 \pm 0,70 mm	0,909
	I	2,93 \pm 0,67 mm	
Diámetro pupilar IOL Master	D	4,22 \pm 1,02 mm	0,828
	I	4,26 \pm 0,98 mm	
Grosor del iris	D	395,87 \pm 72,48 mm	0,606
	I	395,54 \pm 71,77 mm	

Tabla 22: Resultados y correlación entre ojos derechos e izquierdos para los parámetros señalados. Todos los resultados mostrados fueron estadísticamente significativos ($p < 0,0001$).

RESULTADOS

CAPÍTULO 4: LA ABERTURA ANGULAR.

4.1.- LA ABERTURA ANGULAR MEDIDA CON OCT.

4.1.1.- La abertura angular en la población.

La abertura angular temporal media en la población es de $35,80 \pm 12,78$ grados (rango 1,42 a 78,71), cumpliendo una distribución de normalidad, como se aprecia en la siguiente gráfica.

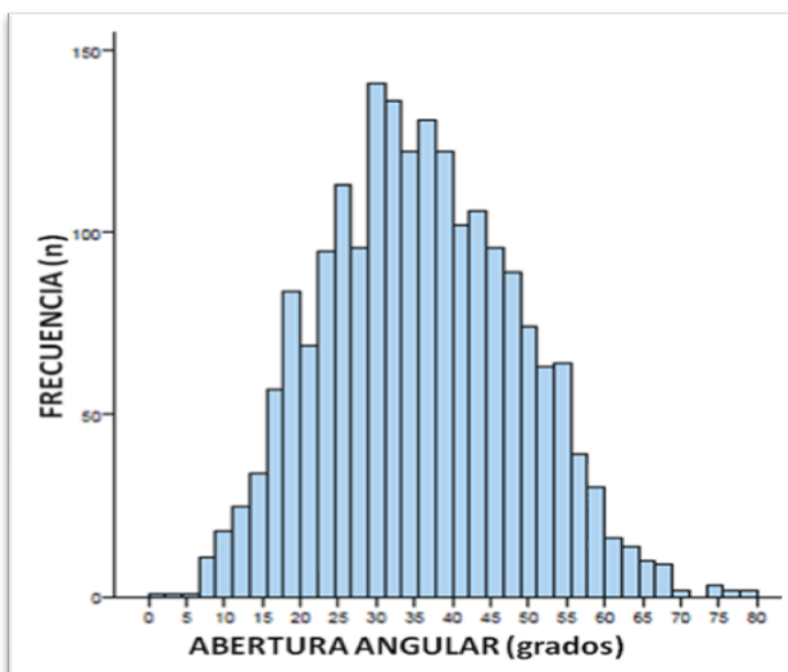
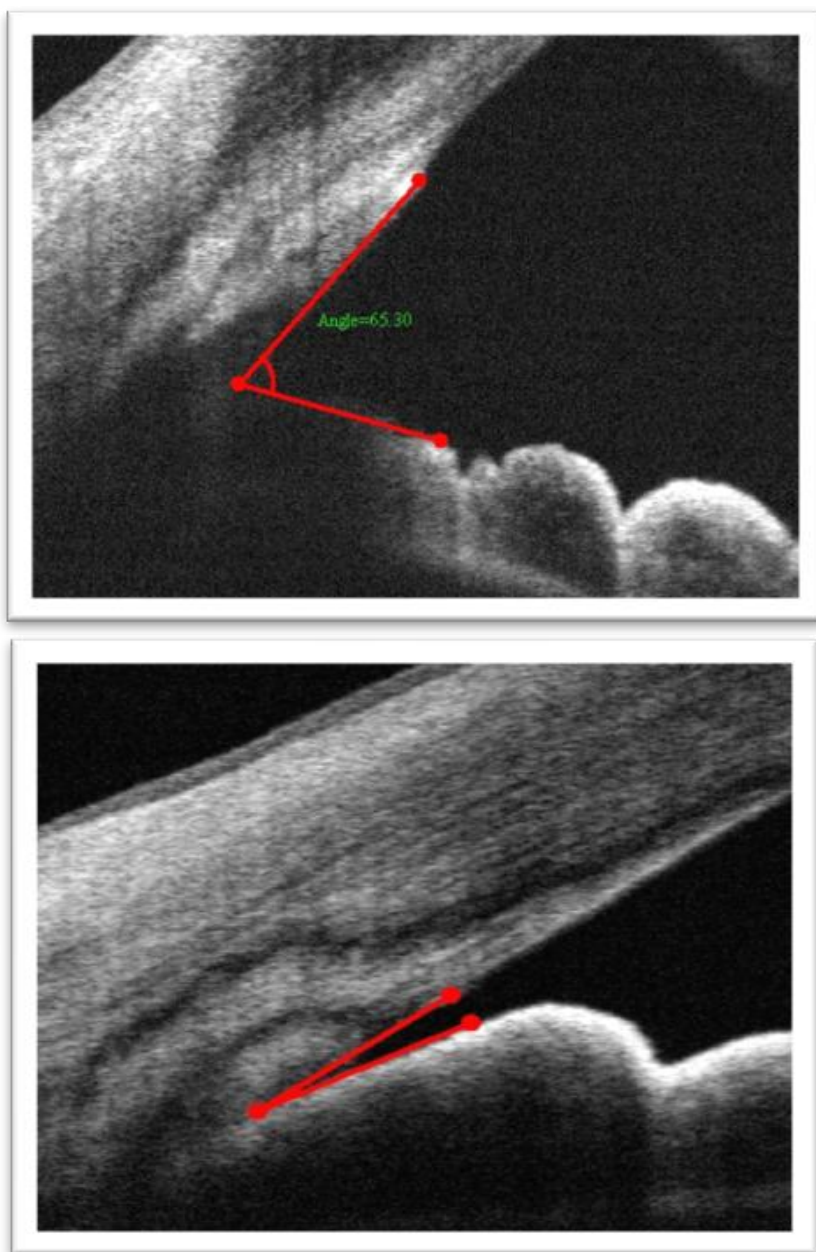


Figura 72: Distribución de la abertura angular medida con OCT.

RESULTADOS



Figuras 73 y 74: En estas imágenes se aprecia el amplio rango existente en cuanto a la abertura angular, siendo muy abierto en la imagen superior, y muy cerrado en la imagen inferior.

4.1.2.- La abertura angular según lateralidad, ojo derecho y ojo izquierdo:

OJO	MEDIA (grados)	D.E
DERECHO	35,78	$\pm 13,33$
IZQUIERDO	35,80	$\pm 12,27$

Tabla 23: Resultados de la abertura angular mediante OCT para el total de ojos derechos y de ojos izquierdos.

No existen diferencias clínicamente relevantes, ni tampoco estadísticamente significativas, en cuanto a la medida de la abertura angular en los ojos derechos y ojos izquierdos.

La media de la diferencia entre la abertura angular en el OD y OI es de $0,015 \pm 6,20$ grados (IC al 95% -0,404 a 0,372). Esto supone que existe una diferencia media de un 0,04% en la medida de la abertura angular entre los ojos derechos e izquierdos ($p < 0,0001$).

La correlación entre los ojos derechos y los ojos izquierdos intrapaciente, es decir, comparando los ojos derechos frente a los ojos izquierdos en cada uno de los pacientes del estudio, es $r = 0,886$ ($p < 0,0001$.)

En el 54,6% de los pacientes se observó una diferencia mayor o igual del 10% dentro del mismo paciente en cuanto a la abertura angular entre su OD y su OI.

En un 26,6% de los pacientes se observó que existía una diferencia mayor o igual del 20% dentro del mismo paciente en cuanto a la abertura angular comparando su OD y su OI.

Y en un 14,5% de los pacientes la diferencia que se observó fue mayor o igual del 30% dentro del mismo paciente en cuanto a la abertura angular comparando su OD y su OI.

Sin embargo, la media de las diferencias para cada paciente fue de $3,87 \pm 24,05\%$, es decir, la diferencia existente en un mismo paciente en cuanto a la abertura angular entre su ojo derecho y su ojo izquierdo fue un 3% de media.

RESULTADOS

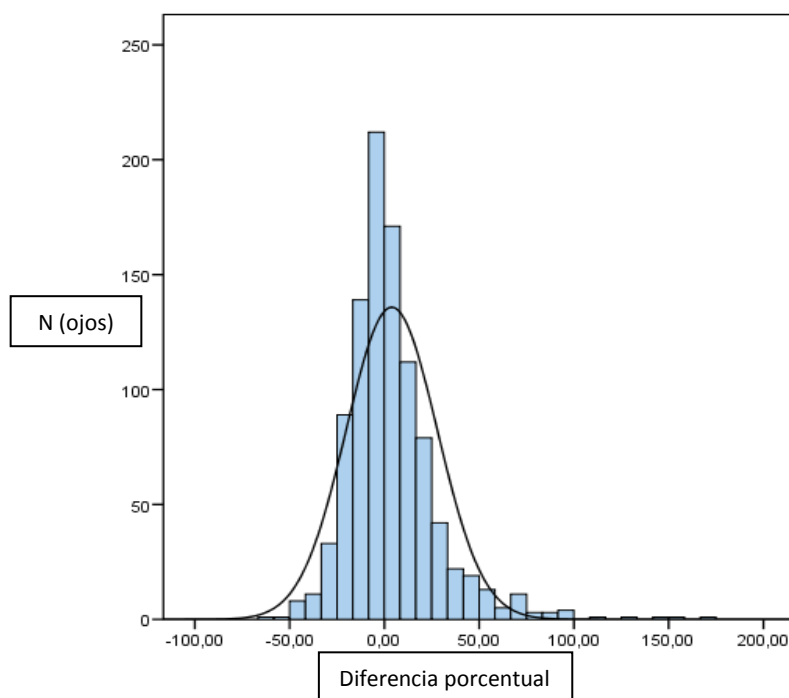
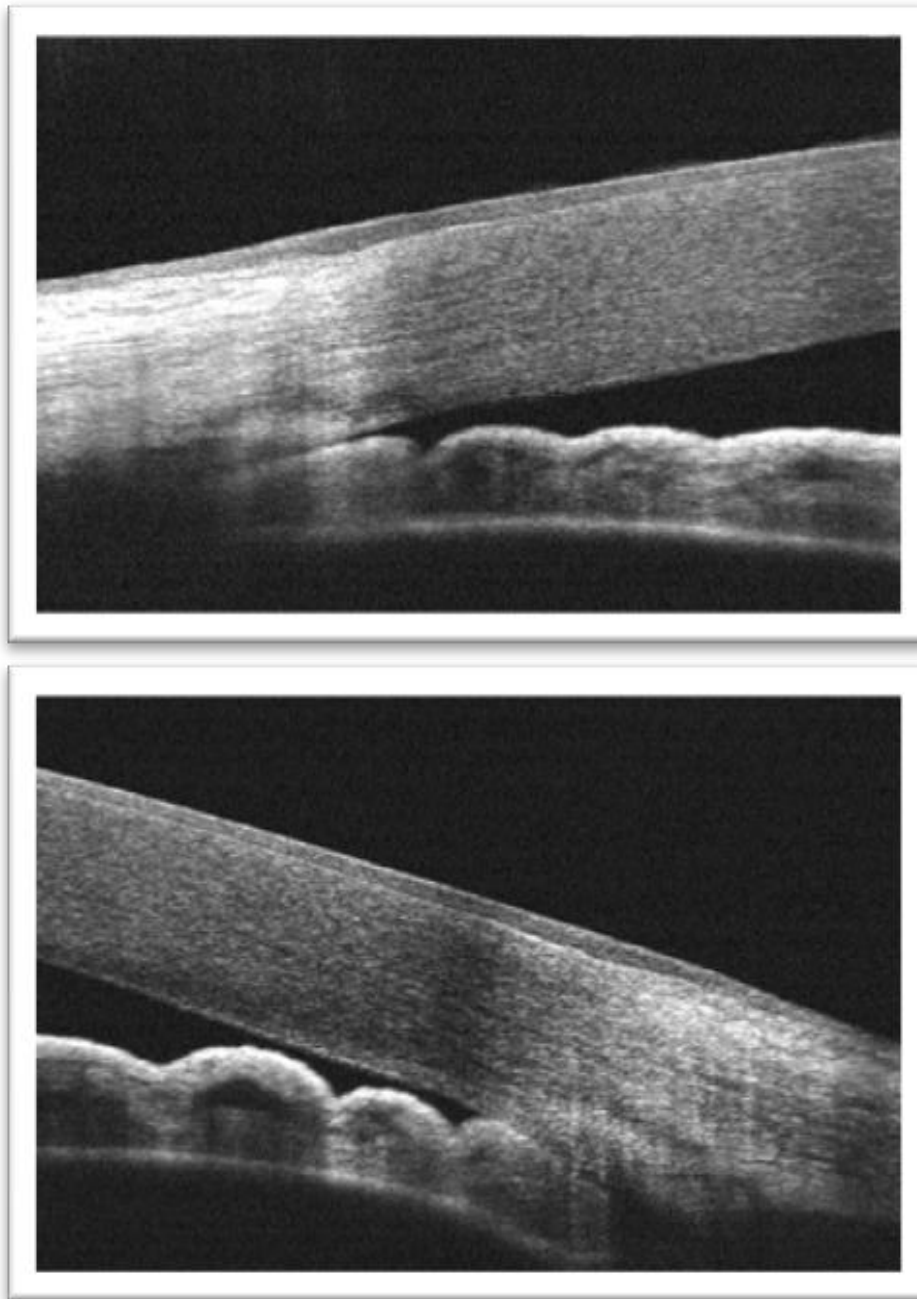


Figura 75: Diferencia porcentual existente entre la abertura angular de ambos ojos dentro de un mismo paciente.



Figuras 76 y 77: Imagen del ojo derecho y ojo izquierdo respectivamente, de la misma paciente en el sector temporal. Se observa en ambas imágenes un ángulo muy cerrado.

4.1.3.- La abertura angular según el sexo:

La abertura angular media en los hombres fue de 38,60 grados, mientras que en las mujeres fue de 34,11 grados. Se observó por tanto, que en las mujeres el ángulo fue 4,49 grados de media menor que en los hombres (IC 95% 3,35 a 5,64 grados). Las diferencias encontradas fueron estadísticamente significativas ($p < 0,0001$).

4.1.4.- La abertura angular según la edad:

En la siguiente tabla se resumen las medias de la abertura angular según el rango de edad de los pacientes.

EDAD (años)	ABERTURA ANGULAR (grados)	N (pacientes)
< 20 años	50,84	12
21 a 25	50,66	52
26 a 30	47,73	70
31 a 35	42,92	88
36 a 40	39,70	85
41 a 45	36,02	115
46 a 50	33,27	90
51 a 55	33,13	98
56 a 60	30,15	97
61 a 65	28,48	122
66 a 70	30,84	86
71 a 75	31,49	41
76 a 80	29,00	22
> 80 años	28,82	7

Tabla 24: Resultados de la abertura angular medida con OCT estratificada por rangos de edad.

Los resultados muestran que la abertura angular disminuyó hasta los 56-60 años, momento a partir del cuál se estabilizó (figura 78).

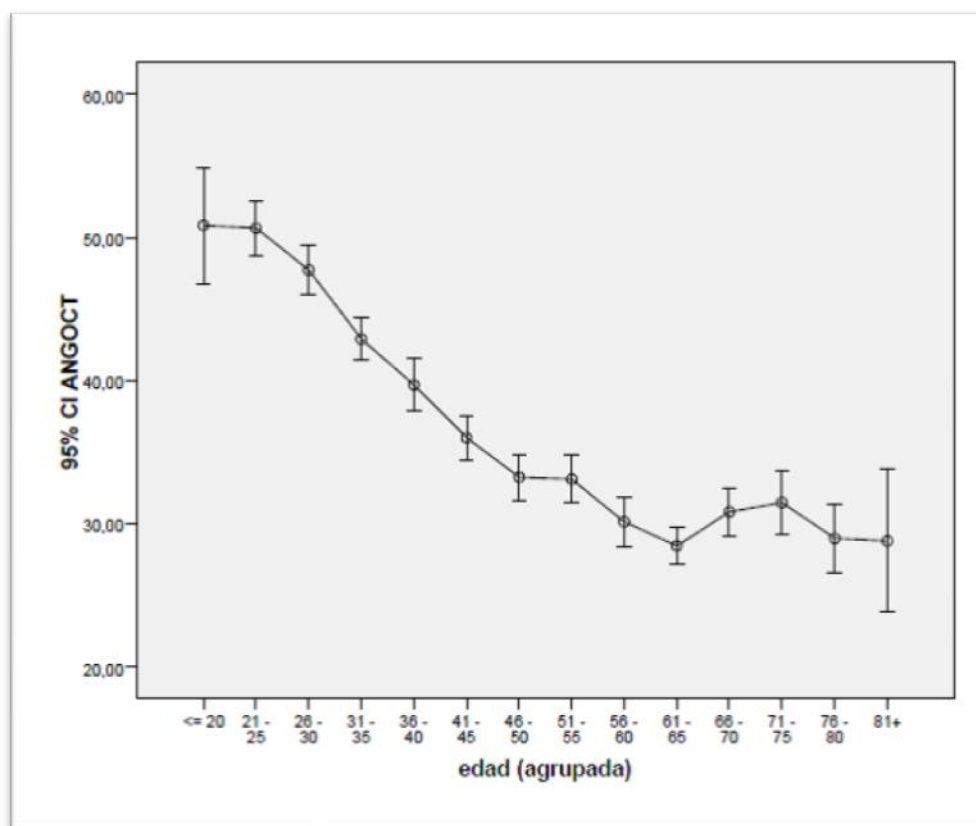


Figura 78: Resultado de la abertura angulares en grados según la edad.

Se estratificaron los resultados de la variación de la abertura angular separándolos en cuanto al sexo, y se encontró que en hombres la abertura angular disminuye hasta los 56-60 años, momento a partir del cual se produjo una estabilización aproximadamente desde los 66 hasta los 81 años.

Por el contrario, en mujeres, la abertura angular disminuyó hasta los 61-65 años, edad a partir del cual se estabilizó hasta los 71-75 años. Se observó nuevamente un ligero descenso de la abertura angular a partir de ese punto. Se debe destacar que el número de pacientes en las edades extremas de la población es notablemente inferior a los valores centrales (figura 79).

RESULTADOS

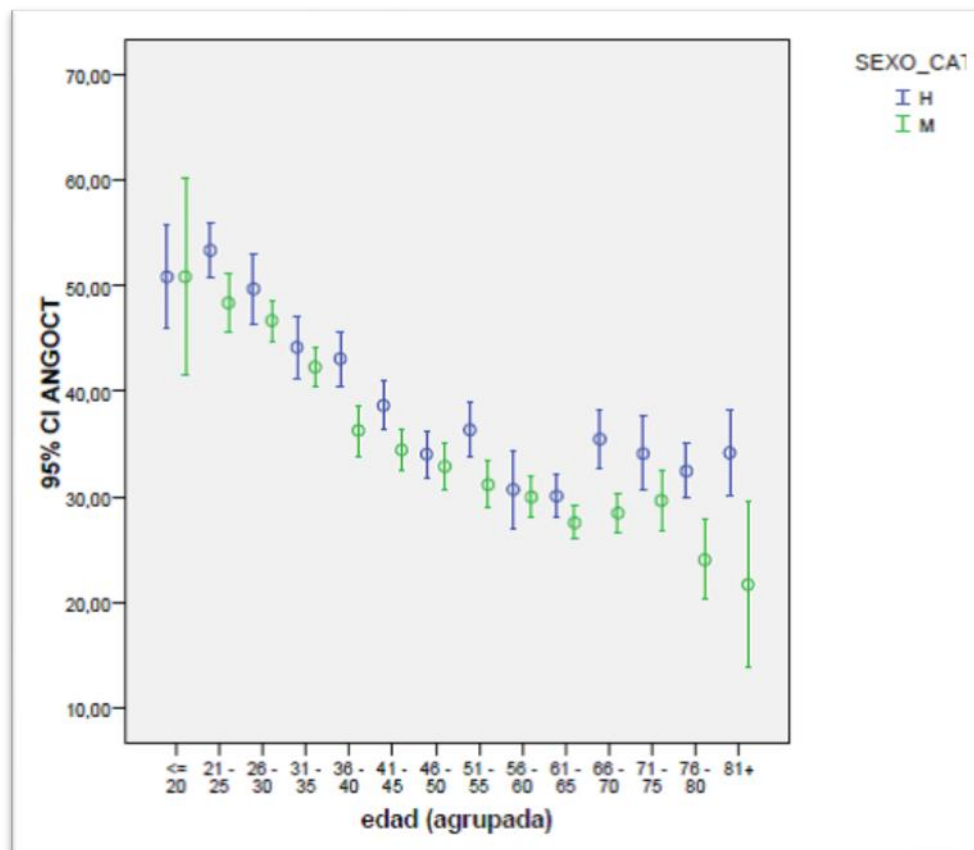


Figura 79: Resultado de la abertura angular en grados estratificado por el sexo. El color azul corresponde a los hombres y el verde a las mujeres.

➤ Correlación:

La correlación general entre la edad y la abertura angular fue $r = -0,487$ ($p < 0,0001$).

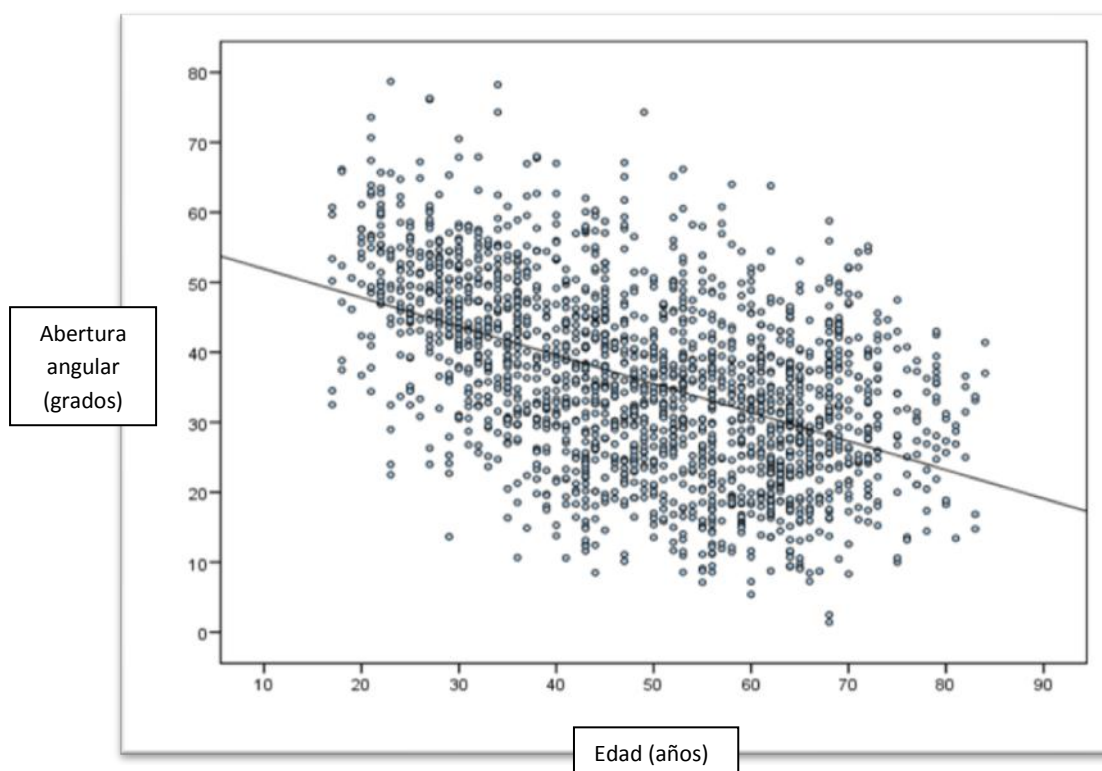


Figura 80: Nube de puntos que muestra la correlación entre la abertura angular y la edad.

Por tanto, se ha observado que la abertura angular disminuyó hasta el rango de los 56-60 años, por lo que hemos estratificado la correlación siendo:

- La correlación entre la edad y la abertura angular en los menores de 60 años fue de $r = -0,496$.
- Por el contrario, no existió correlación entre la abertura angular y la edad en el rango de los mayores de 60 años $r = 0,070$.

Si subdividimos esta correlación en los menores de 60 años por sexo, existió una correlación en los hombres de $r = -0,509$, siendo en mujeres ligeramente inferior, $r = -0,479$ ($p < 0,0001$).

En los mayores de 60 años, la correlación en los hombres fue positiva, $r = 0,135$ ($p = 0,05$), mientras que en las mujeres en este rango de edad fue negativa, siendo el valor de $r = -0,028$ ($p = 0,6$).

RESULTADOS

➤ Regresión lineal:

Se calculó además mediante una regresión lineal la variación que se produjo en la abertura angular por cada año que aumentó la edad hasta los 60 años, siendo $B = -0,579$ (IC 95% -0,632 a -0,526).

Por tanto, por cada año de envejecimiento en nuestra población hasta los 60 años, el ángulo se estrechó en 0,579 grados.

4.1.5.- La abertura angular según el defecto refractivo esférico:

En la siguiente tabla se resumen las medias de la abertura angular según el rango dióptrico de los pacientes.

DEFECTO REFRACTIVO ESFÉRICO (dioptrías)	ABERTURA ANGULAR (grados)	N (ojos)
< -9,01	46,90	36
-9 – -7,01	48,29	45
-7 – -5,01	46,70	109
-5 – -3,01	46,31	201
-3 – -1,01	43,40	298
-1 – 0,99	35,28	511
1 – 2,99	28,44	479
3 – 4,99	26,98	177
5 – 6,99	22,62	61
7 – 8,99	20,31	19
> 9	32	5

Tabla 25: Resultados de la abertura angular medida con OCT estratificada por rangos de defecto refractivo esférico.

Los resultados mostraron que la abertura angular permaneció estable en el rango de <-9 a -3 dioptrías, con una media en torno a los 46 grados, momento a partir del cuál la abertura angular fue disminuyendo a medida que aumentábamos hacia valores positivos, hacia la hipermetropía (figura 81).

En el rango de >9 dioptrías se observó un ligero aumento de la abertura angular, sin embargo el número de ojos en ese rango fue muy pequeño, por lo que no se pueden extrapolar resultados significativos.

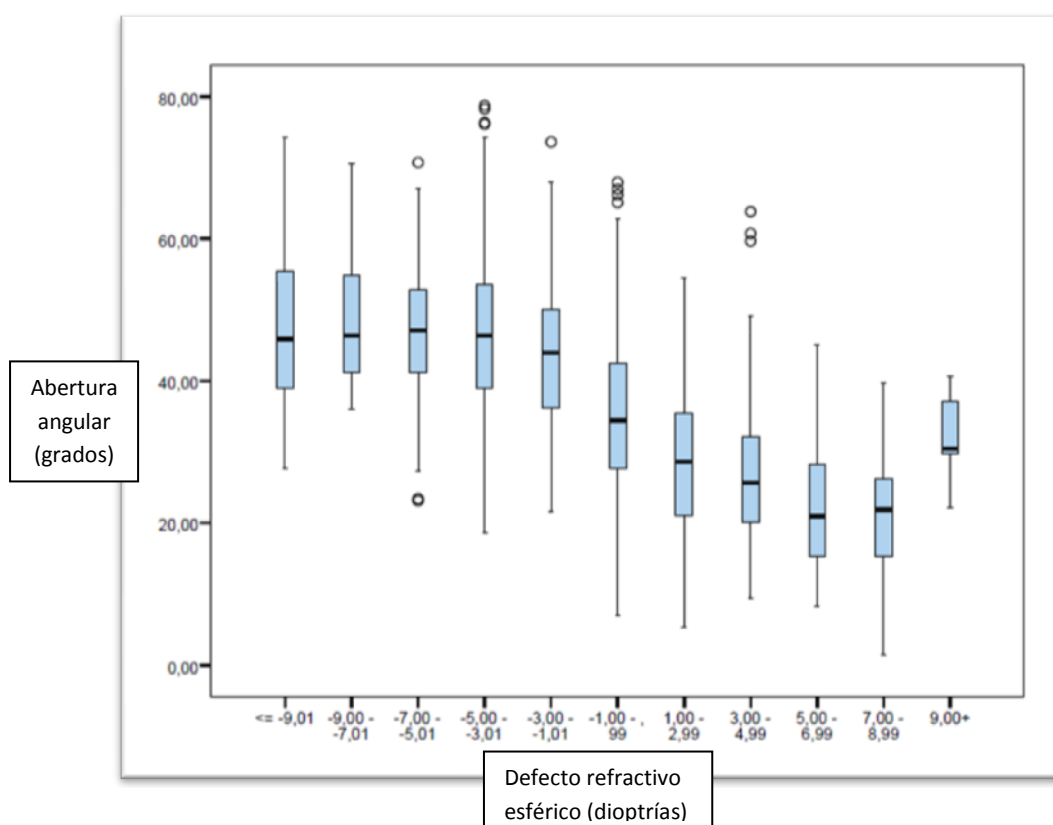


Figura 81: Gráfico de cajas que muestra la relación entre la abertura angular y el defecto refractivo esférico.

Por otro lado, no se observaron diferencias entre los hombres y las mujeres en cuanto a las medias de la abertura angular en los diferentes rangos dióptricos (figura 82).

RESULTADOS

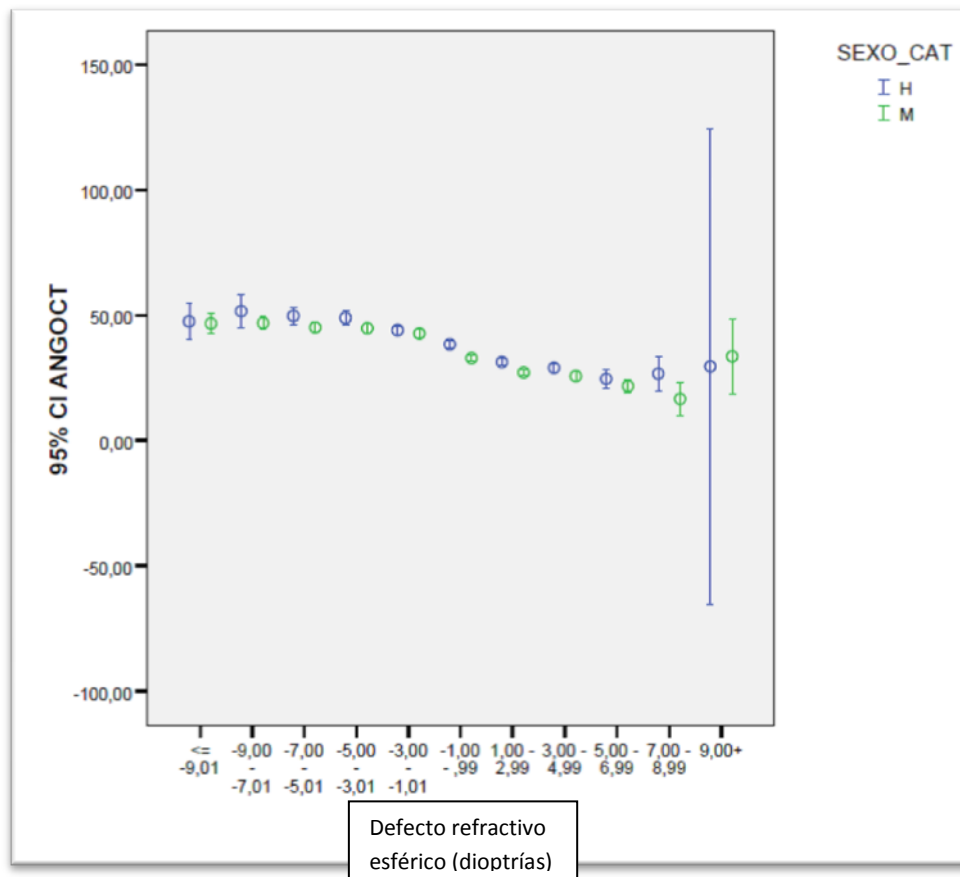


Figura 82: relación entre la abertura angular y el defecto refractivo esférico, estratificado por sexo. El color azul corresponde a los hombres y el verde a las mujeres.

➤ Correlación:

La correlación general (con el total de la población) entre la abertura angular y el defecto refractivo esférico fue de $r = -0,619$ ($p < 0,0001$).

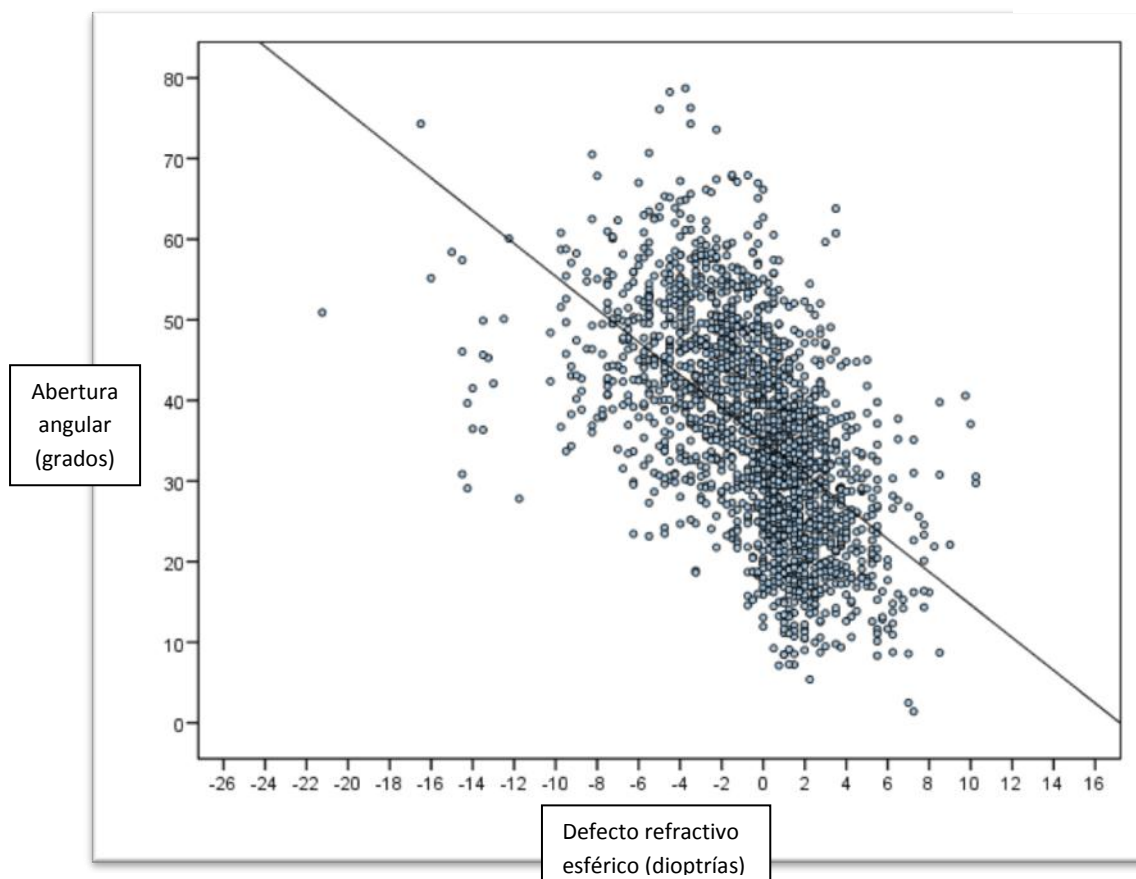


Figura 83: Nube de puntos que muestra la correlación general entre la abertura angular y el defecto refractivo esférico.

Al estratificar por grupos esta correlación, en el rango de -9 a -3 dioptrías se observó que no existía correlación con la abertura angular ($r = -0,034$ $p < 0,0001$). Sin embargo, en el rango desde -3 a +9 dioptrías sí que se apreció una correlación ($r = -0,527$ $p < 0,0001$) entre ambas variables.

➤ **Regresión lineal:**

Se calculó además mediante una regresión lineal entre la abertura angular y el defecto refractivo esférico, la variación que se produjo en la abertura angular por cada dioptría que aumentó el defecto refractivo esférico desde -3 dioptrías hacia valores positivos, siendo $B = -2,678$ (IC 95% -2,906 a -2,450, $p < 0,0001$).

Por tanto, por cada dioptría que aumentó desde una miopía de -3 dioptrías hacia la emetropía o la hipermetropía, el ángulo se estrechó en 2,678 grados.

4.1.6 ESTUDIO GENERAL DE CORRELACIÓN, ANOVA Y MODELOS DE REGRESIÓN:**➤ Correlación:**

Se observó una correlación entre la abertura angular y el equivalente esférico de $r = -0,622$. Ésta correlación es muy similar a la existente con el defecto refractivo esférico ($r = -0,619$), por lo que se empleó éste último para el estudio analítico por su facilidad de comprensión y manejo.

En cuanto a la relación entre la abertura angular y la presión intraocular, se observó una correlación de $r = -0,036$ para el total de ojos ($p = 0,119$).

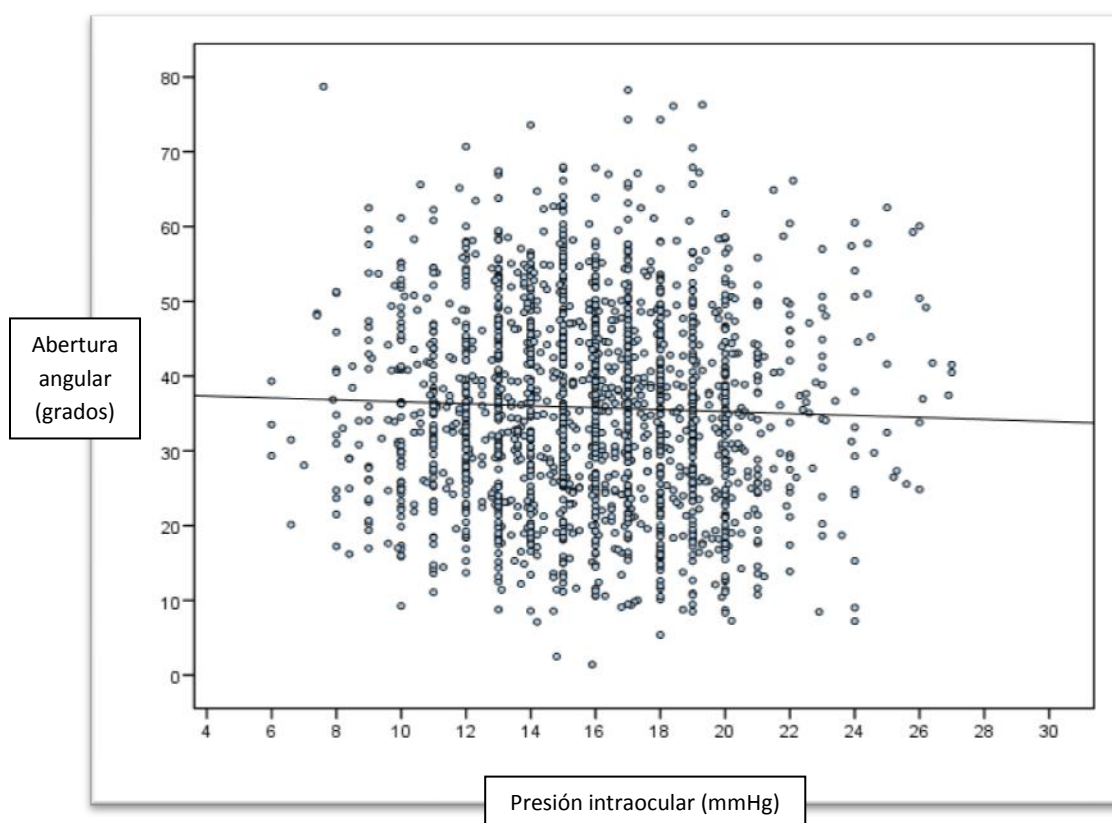


Figura 84: Nube de puntos que muestra la correlación entre la abertura angular y la PIO.

Se analizó además la relación entre la PIO y la abertura angular en ángulos estrechos, es decir, en aquellos ángulos con una abertura igual o inferior a 20 grados ($n = 233$ ojos) apreciándose una correlación de $r = -0,141$ ($p < 0,05$).

Se ha estudiado la relación existente entre la abertura angular y diferentes parámetros de la cámara anterior del globo ocular. En cuanto al volumen de la cámara anterior y su relación con la abertura angular, se observó una correlación de $r = 0,84$ ($p < 0,0001$).

Se estudió además la correlación entre la abertura angular y la profundidad de la cámara anterior, encontrándose una correlación de $r = 0,811$ si fue medida con Pentacam ($p < 0,0001$), y de $r = 0,809$ cuando fue medida con IOL Master ($p < 0,0001$). Por último, además del estudio del volumen y de la profundidad de la cámara anterior, se apreció una correlación $r = 0,239$ entre la abertura angular y el diámetro de la cámara anterior o distancia blanco-blanco, medida con IOL Master ($p < 0,0001$).

Respecto a la relación entre la abertura angular y la longitud axial, se observó una correlación $r = 0,592$ entre ambos parámetros ($p < 0,0001$).

Se encontró una correlación entre la abertura angular y la medida del diámetro pupilar de $r = 0,182$ si fue medido con Pentacam, y de $r = 0,195$ si fue medido con IOL Master ($p < 0,0001$).

Por último, destacar el estudio de la relación existente entre la abertura angular y el grosor del iris en el que se observó una correlación $r = 0,139$ ($p < 0,0001$), y entre la abertura angular y el grosor corneal o paquimetría central observándose en éste caso una correlación de $r = -0,078$ ($p < 0,001$).

En la siguiente tabla resumen se exponen los resultados referidos a las correlaciones existentes entre la abertura angular y el resto de parámetros estudiados.

RESULTADOS

CORRELACIÓN DE LA <u>ABERTURA ANGULAR</u> MEDIDA CON OCT CON:		
PARÁMETRO	CORRELACIÓN (r)	P
Edad	-0,487	<0,0001
PIO	-0,036	0,119
Prof. C.A (Pentacam)	0,811	<0,0001
Abertura angular temporal (Pentacam)	0,458	<0,0001
Abertura angular nasal (Pentacam)	0,655	<0,0001
Paquimetría	0,078	<0,001
Volumen C.A	0,840	<0,0001
Diámetro pupilar (Pentacam)	0,182	<0,0001
Prof. C.A (IOL Master)	0,809	<0,0001
Blanco-Blanco	0,239	<0,0001
Longitud axial	0,592	<0,0001
Diámetro pupilar (IOL Master)	0,195	<0,0001
Defecto refractivo esférico	-0,619	<0,0001
Equivalente esférico	-0,622	<0,0001
Longitud M.T	0,051	0,029
Grosor M.T	0,100	0,0001
Área M.T	0,052	0,028
AOD	0,929	<0,0001
TISA	0,873	<0,0001
DIM	0,905	<0,0001
Área pretrabecular	0,789	<0,0001
Grosor del iris	0,139	<0,0001

Tabla 26: Resultados de la correlación de la abertura angular con diferentes parámetros.

En este estudio se ha intentado analizar la influencia que pueden tener en la variabilidad final de la abertura angular los múltiples factores estudiados, sin embargo, esta parte del estudio, se ha centrado concretamente en 3: el sexo, la edad y el defecto refractivo esférico. Para ello se realizó un ANOVA y un modelo de regresión lineal multivariable con los parámetros citados.

➤ **ANOVA O Análisis de la varianza.**

Se realizó un análisis de ANOVA como contraste de hipótesis, para estudiar si existían diferentes factores de confusión, como por ejemplo, que existieran más hipermétropes (que como se ha expuesto son ángulos más estrechos) en la gente de mayor edad (que como también se ha expuesto, con la edad disminuye la abertura angular), y por ello fuera así el ángulo final mucho más estrecho. O que existieran más mujeres (que tienen el ángulo más estrecho que los hombres) en las décadas de más edad.

Cabe resaltar que la distribución de los pacientes por edad y por sexo, realizada al azar, fue homogénea en cuanto a dichas variables, lo que disminuyó las probabilidades de un sesgo.

En cuanto al análisis de la varianza o ANOVA de la relación entre la abertura angular y el sexo, se observó que el ángulo era diferente en los hombres y en las mujeres y que ésto no era debido al azar ($p < 0,00001$).

Con respecto al ANOVA de la relación entre la abertura angular y la edad, se categorizó ésta en 4 grupos. Los grupos se subdividieron aproximando la media y la desviación estándar (que fue de $49,09 \pm 15,21$ años), estando compuestos los grupos finalmente por menores de 35 años, entre 35-50 años, entre 50-65 años y mayores de 65 años). El análisis demostró que el ángulo era diferente en cada una de las categorías y que ésto no era debido al azar ($p < 0,00001$).

Por último, en cuanto al ANOVA de la relación entre la abertura angular y el defecto refractivo esférico, se categorizó éste en 3 grupos para simplificar el estudio estadístico. Los grupos conformados fueron menores de -3 dioptrías, de -3 a +3 dioptrías, y en mayores de 3 dioptrías. Este análisis también demostró que el ángulo

RESULTADOS

era diferente en cada una de las categorías y que ésto no fue debido al azar ($p < 0,00001$).

➤ Modelo de regresión lineal multivariable:

Para determinar la importancia que puede tener cada parámetro sobre la variabilidad final de la abertura angular se realizó un modelo de regresión lineal multivariable.

➤ Análisis del modelo de regresión lineal multivariable:

Para conocer el efecto puro de la edad, el sexo o el defecto refractivo esférico, se deben ajustar con el resto de variables, es decir, para conocer el efecto puro del sexo, se debe ajustar por edad y defecto refractivo esférico ya que éstas también influyen en la variabilidad final de la abertura angular.

Ésto se realiza mediante un programa estadístico que diseña un modelo en el que determina un grupo de referencia sobre el cuál realiza las múltiples comparaciones, siendo en éste caso:

- Parámetro edad: menor o igual de 35 años
- Parámetro sexo: hombres.
- Parámetro defecto refractivo esférico: menor de -3 dioptrías.

Éste grupo de referencia tiene un valor medio de abertura angular de 55,67 grados (IC 95% entre 54,36 y 56,98 grados), y se considera la categoría 0.

1. Análisis de la abertura angular por sexo:

Las mujeres respecto a los hombres tuvieron un ángulo 4,61 grados más estrecho (-4,61 grados, IC 95% de -5,51 a -3,70), ya ajustado según el modelo, es decir, es el efecto puro del sexo ya ajustado por edad y defecto refractivo esférico ($p < 0,0001$).

Por tanto se descartó que los resultados en nuestra población fueran debidos a que existían más mujeres que fueran hipermétropes o de mayor edad.

2. Análisis de la abertura angular por edad:

- Categoría 1 (36-50 años): en el grupo de 36 a 50 años, comparado con el grupo de referencia en el modelo, tuvieron un ángulo más pequeño con una diferencia de abertura promedio de -8,30 grados (IC 95% de -9,55 a -7,06 grados).
- Categoría 2 (51-65 años): en el grupo de 51 a 65 años, comparado con el grupo de referencia en el modelo, tuvieron un ángulo más pequeño con una diferencia de abertura promedio de -12,67 grados (IC 95% de -13,92 a -11,43 grados).
- Categoría 3 (> 65 años): en el grupo de mayores de 65 años, comparado con el grupo de referencia en el modelo, tuvieron un ángulo más pequeño con una diferencia de abertura promedio de - 11,74 grados (IC 95% de -13,23 a -10,25 grados).

MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIABLE PARA LA EDAD			
Categoría 0: grupo de referencia	55,67 grados (≤ 35 años, hombres y $<-3D$)		
CATEGORÍA (años)	DIFERENCIA MEDIA (grados)	IC 95% (grados)	P
Categoría 1: 36-50	-8,30	-9,55 a -7,06	<0,0001
Categoría 2: 51-65	-12,67	-13,92 a -11,43	<0,0001
Categoría 3: >65	-11,74	-13,23 a -10,25	<0,0001

Tabla 27: Modelo de regresión lineal multivariable para la edad. Los resultados reflejan el efecto puro de la edad, una vez ajustada por el sexo y por el defecto refractivo esférico.

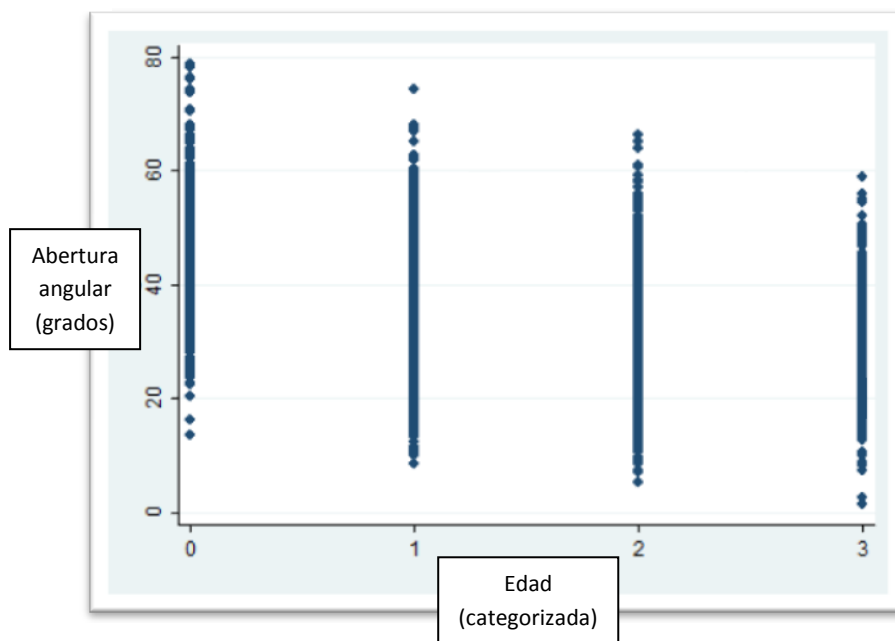


Figura 85: Se muestra como disminuye la abertura angular desde la categoría 0 de edad (que corresponde a los menores de 35 años) hasta la categoría 3 (que corresponde a los mayores de 65 años).

3. Análisis de la abertura angular por defecto refractivo esférico:

- en el grupo de -3 a +3 dioptrías, comparado con el grupo de referencia en el modelo, tuvieron un ángulo más pequeño con una diferencia de abertura promedio de - 9,55 grados (IC 95% de -10,70 a -8,39 grados).
- en el grupo de mayor de +3 dioptrías, comparado con el grupo de referencia en el modelo, tuvieron un ángulo más pequeño con una diferencia de abertura promedio de -16,85 grados (IC 95% de -18,45 a -15,24 grados).

MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIABLE PARA EL DEFECTO REFRACTIVO ESFÉRICO			
Categoría 0: grupo de referencia	55,67 grados (< 35 años, hombres y <-3D)		
CATEGORÍA (dioptrías)	DIFERENCIA MEDIA (grados)	IC 95% (grados)	P
Categoría 1: -3 a +3	-9,55	-10,70 a -8,39	<0,0001
Categoría 2: >+3	-16,85	-18,45 a -15,24	<0,0001

Tabla 28: Modelo de regresión lineal multivariable para el defecto refractivo esférico. Los resultados reflejan el efecto puro del defecto refractivo esférico, una vez ajustado por el sexo y por la edad.

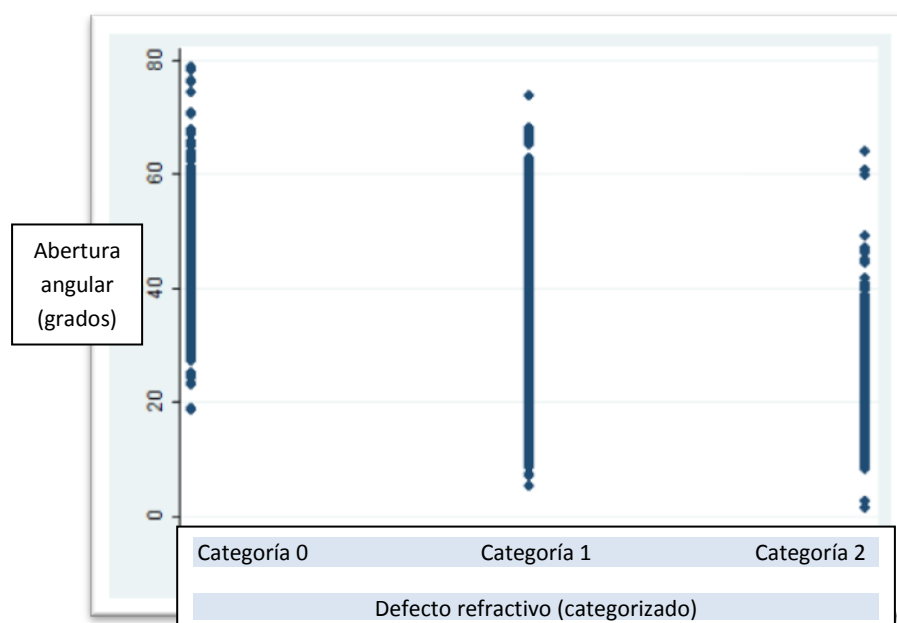


Figura 86: Se muestra como disminuye la abertura angular desde la categoría 0 del defecto refractivo esférico (que corresponde a los de menos de -3 dioptrías), hasta la categoría 2 (que corresponde a los de más de 3 dioptrías).

Se analizaron posteriormente, en primer lugar los factores individuales, y en segundo lugar el modelo conjunto incluyendo los principales parámetros estudiados, para cuantificar la influencia que presentaron en la variabilidad final de la abertura angular.

RESULTADOS

Los resultados fueron:

➤ **Análisis por factores individuales:**

- 1.- **Sexo**: el sexo explicó un 2,92 % ($r^2 = 0,0292$) de la variabilidad final de la abertura angular.
- 2.- **Edad**: la edad explicó el 24,60 % ($r^2 = 0,2460$) de la variabilidad final de la abertura angular.
- 3.- **Defecto refractivo esférico**: explicó el 25,60 % ($r^2 = 0,2560$) de la variabilidad final de la abertura angular.

➤ **Análisis del modelo conjunto:**

Los 3 parámetros (edad, sexo y defecto refractivo esférico) explicaron un 44,2% de la variabilidad final de la abertura angular ($r^2 = 0,442$) ($p < 0,0001$).

Tras éste resultado, se incluyeron otros 2 parámetros más, de entre aquellos recogidos en el estudio, para cuantificar si existía un aumento significativo de la r^2 , es decir, si aumentaba la determinación de la variabilidad final del ángulo.

Los dos parámetros incluidos fueron la profundidad de la cámara anterior y la longitud axial, añadidos al modelo descrito en el que se incluían el sexo, la edad, y el defecto refractivo esférico.

Al realizarlo, el propio programa estadístico, elimina del modelo y no tiene en cuenta los datos de la longitud axial, probablemente debido a la gran interrelación que presenta con el defecto refractivo esférico (correlación entre el defecto refractivo esférico y la longitud axial $r = -0,797$ $p < 0,0001$).

Así, si al modelo anterior de 3 parámetros (sexo, edad y defecto refractivo esférico), se le añade la profundidad de la cámara anterior, éstos 4 parámetros explican un 68,4 % de la variabilidad final de la abertura angular ($r^2 = 0,684$) ($p < 0,0001$).

En el caso de la profundidad de la cámara anterior, por cada aumento de 100 micras, aumenta 1,9 grados la abertura angular ($B = 1,9$ grados).

4.2.- LA ABERTURA ANGULAR MEDIDA CON PENTACAM:

Hemos medido la abertura angular con Pentacam® en los sectores temporal y nasal de ambos ojos de cada paciente, obteniendo los siguientes resultados.

4.2.1.- La abertura angular en la población.

La abertura angular temporal media fue de $36,28 \pm 7,37$ grados (rango de 4,1 a 74,2), con la distribución de normalidad que se muestra en la siguiente gráfica.

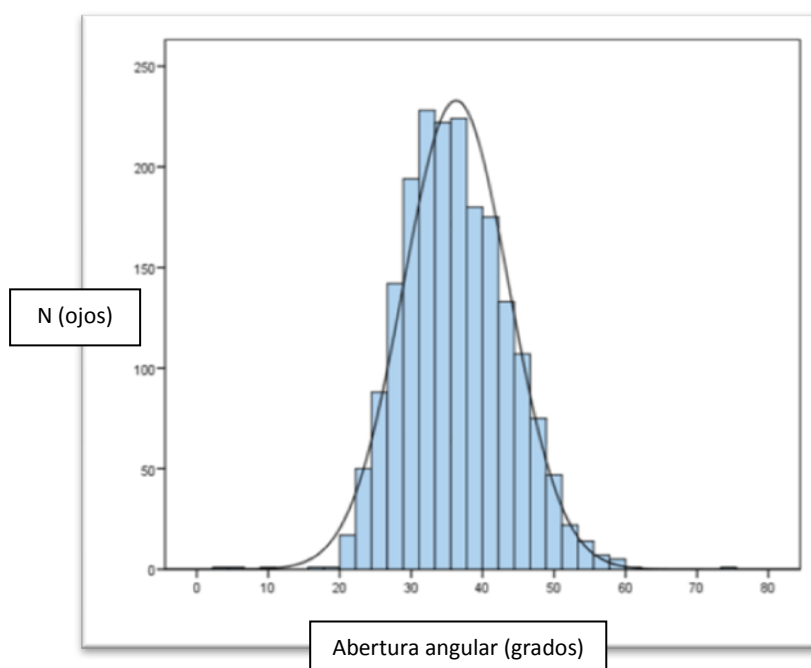


Figura 87: distribución de la abertura angular temporal medida con Pentacam®.

La abertura angular nasal media fue de $36,29 \pm 8,09$ grados (rango de 14,2 a 64), cumpliendo una distribución de normalidad.

RESULTADOS

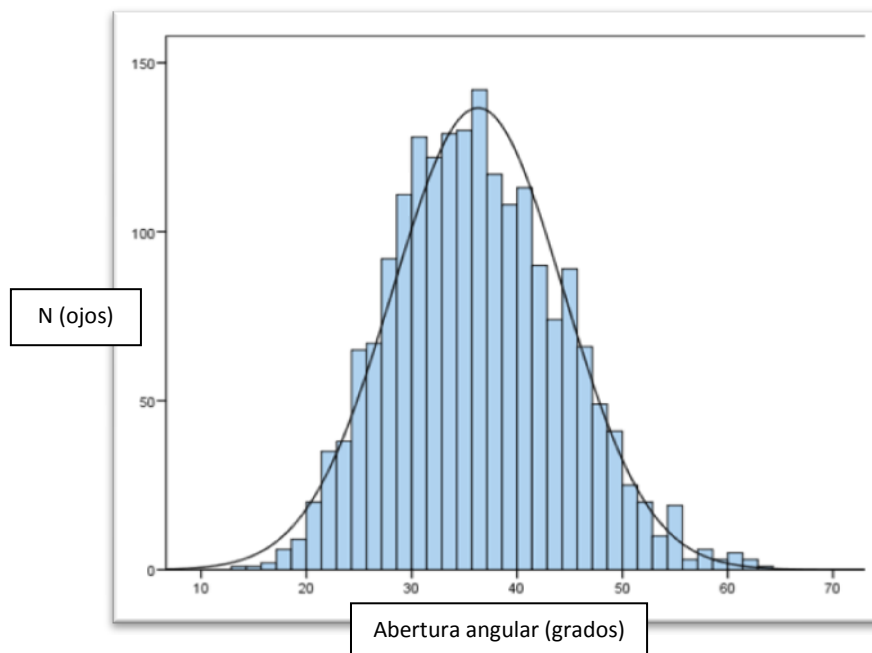


Figura 88: distribución de la abertura angular nasal medida con Pentacam®.

El rango de la abertura angular fue notablemente más amplio en el sector temporal 70,1 grados (rango de 4,1 a 74,2 grados), que en el nasal, que fue de 49,8 grados (rango de 14,2 a 64).

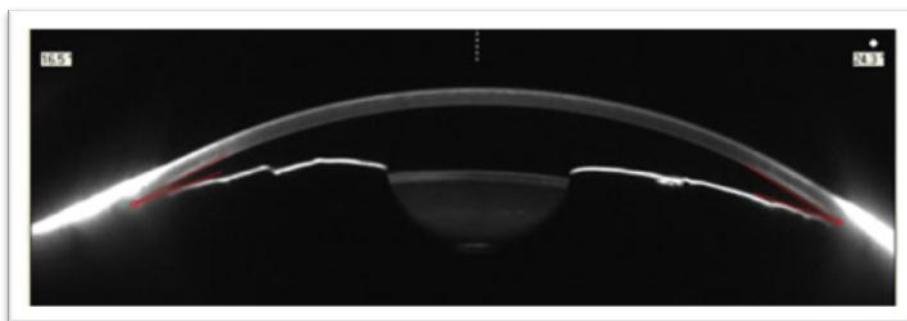


Figura 89: Abertura angular nasal y temporal medidas con Pentacam®. Nótese que la medida que tiene un punto blanco encima, es la que señala el sector temporal.

4.2.2.- La abertura angular según lateralidad, ojo derecho y ojo izquierdo:

OJO	Temporal (grados)	Nasal (grados)
DERECHO	35,66 \pm 7,32	34,62 \pm 8,13
IZQUIERDO	36,86 \pm 7,37	36,15 \pm 8,05

Tabla 29: Resultados de la de la abertura angular medida mediante Pentacam® en los sectores temporal y nasal del ojo derecho y del ojo izquierdo.

En el sector temporal existe una diferencia de medias intrapaciente entre el ojo derecho y el ojo izquierdo de un 3,36% en la medida de la abertura angular. Sin embargo, en el sector nasal ésta diferencia es de un 0,75%.

Mediante Pentacam® el ángulo más estrecho fue el hallado en el sector nasal de los OD, y el más abierto fue el sector temporal de los OI.

4.2.3.- La abertura angular según el sexo:

En las mujeres el ángulo fue 1,80 grados de media más estrecho que en los hombres (IC 95% -2,40 a -1,21 grados , $p < 0,0001$).

4.2.4.- La abertura angular según la edad:

Se observó una correlación entre la abertura angular medida con Pentacam y la edad, siendo esta más fuerte en el sector nasal que en el temporal. ($r = -0,533$ vs $r = -0,269$ respectivamente, $p < 0,0001$).

4.2.5.- La abertura angular según el defecto refractivo esférico:

Se observó una correlación entre la abertura angular medida con Pentacam y el defecto refractivo esférico, siendo esta más fuerte en el sector nasal que en el temporal. ($r = -0,501$ vs $r = -0,385$ respectivamente, $p < 0,0001$).

En éste caso se utilizó la correlación de Spearman por no cumplir el defecto refractivo esférico la distribución de la normalidad.

RESULTADOS

PARÁMETRO	CORRELACIÓN CON ABERTURA ANGULAR TEMPORAL (Pentacam®)	CORRELACIÓN CON ABERTURA ANGULAR NASAL (Pentacam®)
Edad	-0,269 (<0,0001)	-0,534 (<0,0001)
PIO	-0,015 (0,523)	-0,035 (0,131)
Prof. C.A (Pentacam)	0,533 (<0,0001)	0,750 (<0,0001)
Paquimetría	-0,065 (0,004)	-0,078 (<0,001)
Volumen C.A	0,487 (<0,0001)	0,744 (<0,0001)
Diámetro pupilar (Pentacam)	0,071 (<0,002)	0,117 (<0,0001)
Prof. C.A (IOL Master)	0,531 (<0,0001)	0,729 (<0,0001)
Blanco-Blanco	0,118 (<0,0001)	0,261 (<0,0001)
Longitud axial	0,363 (<0,0001)	0,434 (<0,0001)
Diámetro pupilar (IOL Master)	0,195 (<0,0001)	0,187 (<0,0001)
Defecto refractivo esférico	-0,385 (<0,0001)	-0,501 (<0,0001)
Equivalente esférico	-0,396 (<0,0001)	-0,509 (<0,0001)
Longitud M.T	0,021 (0,372)	0,088 (0,001)
Grosor M.T	0,051 (0,033)	0,110 (<0,0001)
Área M.T	0,023 (0,331)	0,108 (0,001)
Abertura angular OCT	0,458 (<0,0001)	0,655 (<0,0001)
AOD	0,457 (<0,0001)	0,637 (<0,0001)
TISA	0,416 (<0,0001)	0,587 (<0,0001)
DIM	0,453 (<0,0001)	0,640 (<0,0001)
Área pretrabecular	0,381 (<0,0001)	0,555 (<0,0001)
Grosor del iris	0,113 (<0,0001)	0,115 (<0,0001)

Tabla 30: Resultados de la correlación de la abertura angular medida con Pentacam® con los principales parámetros estudiados.

➤ **MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIABLE:**

Para analizar los factores que determinan la variabilidad final de la abertura angular medida con Pentacam®, se realizó también una regresión lineal multivariable, de la misma forma que se realizó con la medida de la abertura angular mediante OCT.

- **Abertura angular nasal:**

Para el sector nasal los 3 parámetros (edad, sexo y defecto refractivo esférico) explicaron un 36,7 % de la variabilidad final de la abertura angular nasal medida con Pentacam® ($r^2 = 0,367$) ($p < 0,0001$).

Por cada año que aumentó la edad, la abertura angular nasal disminuyó 0,23 grados ($B = -0,230$), y por cada dioptría de aumento del defecto refractivo esférico desde valores negativos hacia valores positivos, la abertura angular nasal disminuyó 0,649 grados ($B = -0,649$).

- **Abertura angular temporal:**

Para el sector temporal los 3 parámetros (edad, sexo y defecto refractivo esférico) explicaron un 14,5 % de la variabilidad final de la abertura angular temporal medida con Pentacam ($r^2 = 0,145$) ($p < 0,0001$).

Por cada año que aumentó la edad, la abertura angular nasal disminuyó 0,084 grados ($B = -0,084$), y por cada dioptría de aumento del defecto refractivo esférico desde valores negativos hacia valores positivos, la abertura angular nasal disminuyó 0,568 grados ($B = -0,568$).

4.3.- ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ABERTURA ANGULAR: OCT versus PENTACAM.

Se realizaron medidas de la abertura angular mediante OCT Fourier Domain de segmento anterior, y mediante Pentacam, y se analizó la concordancia existente entre las medidas de ambos aparatos.

- 1.- El coeficiente de correlación intraclase mostró una concordancia entre la medida de la abertura angular con OCT y con Pentacam de 0,397 (IC 95% 0,358 – 0,434).
- 2.- La correlación de Pearson entre la abertura angular medida con OCT y con Pentacam fue de 0,458 en el sector temporal, y de 0,655 en el sector nasal.
- 3.- El análisis de Bland Altman, mostró la concordancia de la medida de la abertura angular, siendo la diferencia de medias entre ambos dispositivos de 1,2 grados ($p < 0,0001\%$).

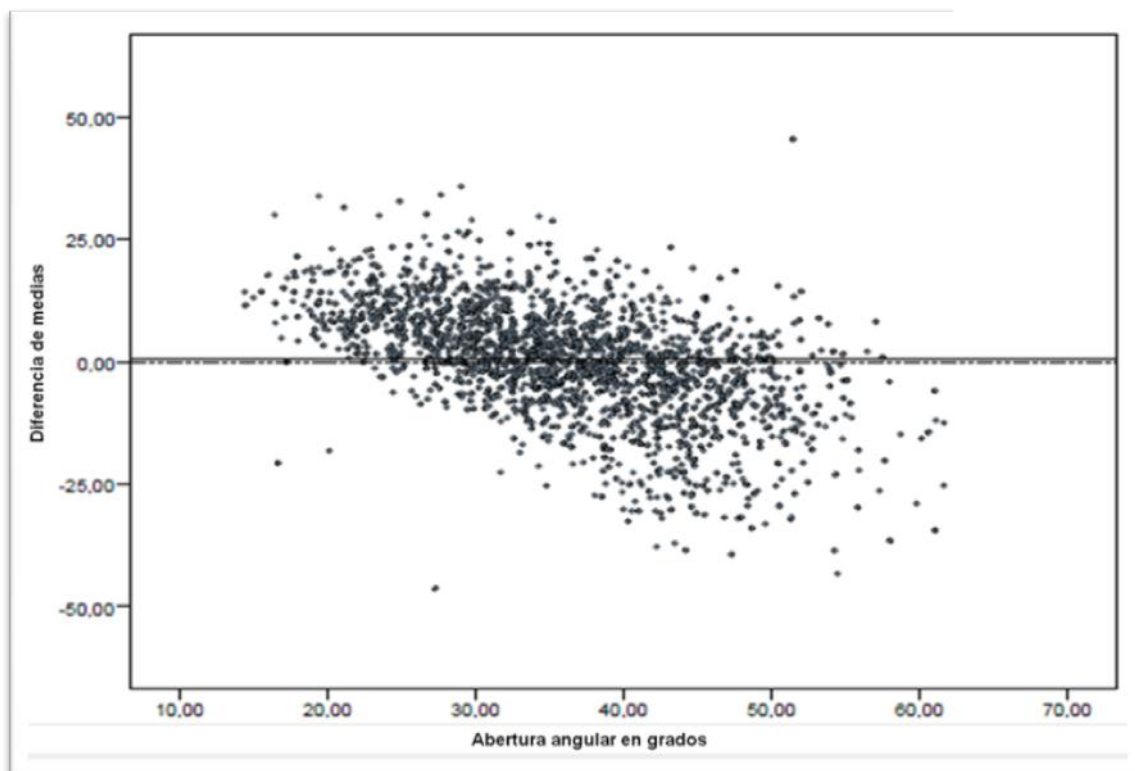


Figura 90: Análisis de Bland Altman para la medida de la abertura angular entre OCT y Pentacam®. En la gráfica se observa que el Pentacam® sobreestima la medida de la abertura angular en ángulos estrechos, e infraestima la medida en ángulos abiertos.

4.4.- OTROS PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA ABERTURA ANGULAR:

4.4.1.- ESTUDIO DE CORRELACIÓN.

Se exponen aquí los resultados de otras correlaciones existentes entre diferentes parámetros de la morfometría ocular, debido a su importancia y a la interrelación que presentan con la abertura angular.

Parámetro	Correlación (r)	P
Defecto refractivo esférico y longitud axial	-0,797	<0,0001
Defecto refractivo esférico y profundidad C.A. (Pentacam®)	-0,613	<0,0001
Profundidad C.A. (Pentacam®) y longitud axial	0,616	<0,0001
Profundidad C.A (Pentacam®) y edad	-0,528	<0,0001
Volumen C.A y edad	-0,576	<0,0001
Profundidad C.A (Pentacam®) y PIO	-0,033	0,15
Volumen C.A y PIO	-0,044	0,05
Profundidad C.A (Pentacam®) y paquimetría	-0,021	0,352
Volumen C.A y paquimetría	-0,091	<0,0001

Tabla 31: Resultados de la correlación entre diferentes parámetros relacionados con la abertura angular.

En cuanto a la profundidad de la cámara anterior medida con Pentacam, el 1,5% de los pacientes presentaron una diferencia mayor o igual del 10% entre su OD y su OI, el 0,4% de los pacientes presentaron una diferencia mayor o igual del 20% en la profundidad de la CA entre su OD y su OI, y en el 0,1% de los pacientes esta diferencia fue mayor o igual del 30%.

En el caso de la profundidad de la cámara anterior medida con IOL Master, el 2,7%, el 0,2% y el 0,1% de los pacientes presentaron una diferencia mayor o igual del 10%, mayor o igual del 20% y mayor o igual del 30% respectivamente, en cuanto a la profundidad de la CA entre su OD y su OI.

Con respecto a la longitud axial, el 0,4%, el 0,2% y el 0,1% de los pacientes presentaron una diferencia mayor o igual del 10%, mayor o igual del 20%, y mayor o igual del 30% respectivamente, en la medida de la longitud axial entre su OD y su OI.

Por último, en cuanto al defecto refractivo esférico, el 65,8%, el 49,9% y el 39,7% de los pacientes presentaron una diferencia mayor o igual del 10%, mayor o igual del 20% y mayor o igual del 30% respectivamente, en el defecto refractivo esférico entre su OD y su OI.

4.4.2.- ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL PENTACAM Y EL IOL MASTER EN LA MEDIDA DE LA PROFUNDIDAD DE LA CÁMARA ANTERIOR Y EL DIÁMETRO PUPILAR:

4.2.1 Concordancia de la medida de la profundidad de la cámara anterior.

Se ha medido la profundidad de la cámara anterior mediante Pentacam® e IOL Master®, y se analizó la concordancia existente entre las medidas de ambos dispositivos.

- 1.- El coeficiente de correlación intraclase mostró una concordancia entre la medida de la profundidad de la cámara anterior medida con Pentacam y con IOL Master de 0,948 (IC 95% 0,944 – 0,953).
- 2.- La correlación de Pearson entre la profundidad de la cámara anterior medida con Pentacam y con IOL Master fue de 0,952.
- 3.- El análisis de Bland Altman mostró la concordancia de la profundidad de la cámara anterior entre los 2 dispositivos, con una diferencia de medias de 0,034 mm en la medida de la profundidad de la cámara anterior (IC 95% 0,028 – 0,040 , $p < 0,0001$).

RESULTADOS

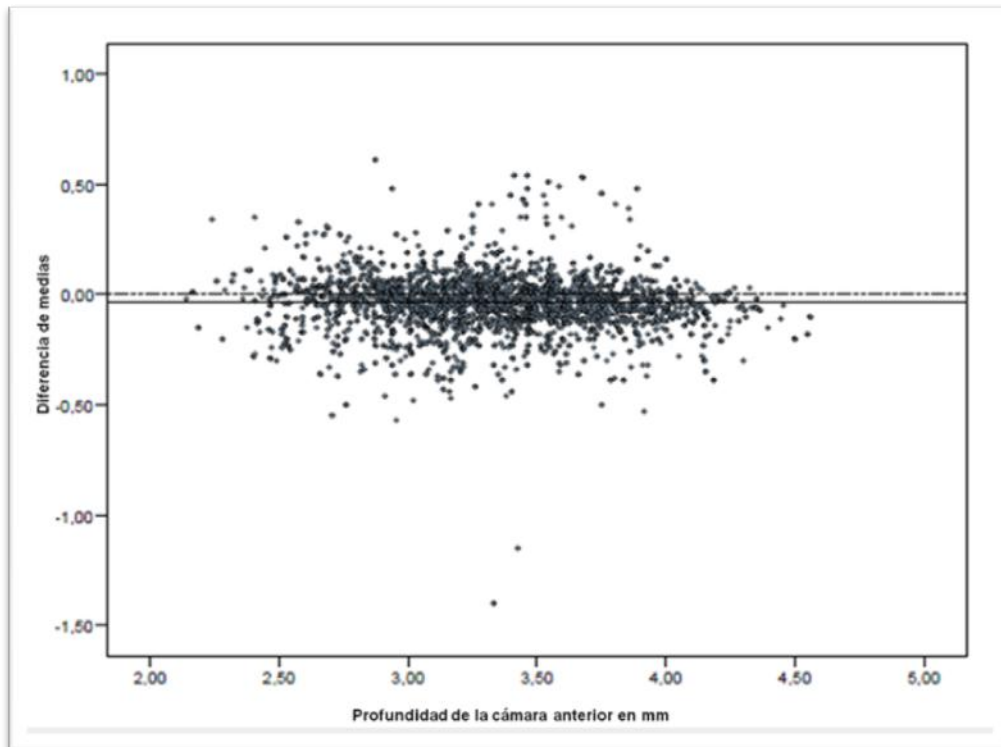


Figura 91: Análisis de Bland Altman para la profundidad de la cámara anterior medida con Pentacam® e IOL Master®. La variabilidad fue homogénea en todo el rango de la variable.

4.2.2 Concordancia de la medida del diámetro pupilar.

Se realizaron medidas del diámetro pupilar mediante Pentacam e IOL Master, y se analizó la concordancia existente entre las medidas de ambos aparatos.

- 1.- El coeficiente de correlación intraclass mostró una concordancia entre la medida del diámetro pupilar medido con Pentacam® y con IOL Master® de 0,192 (IC 95% 0,078 – 0,312).
- 2.- La correlación de Pearson entre el diámetro pupilar medido con Pentacam y con IOL Master fue de 0,517 ($p < 0,0001$).
- 3.- El análisis de Bland Altman, mostró la concordancia de la medida del diámetro pupilar entre los 2 dispositivos, presentando una diferencia de medias de 1,26 mm en la medida del diámetro pupilar (IC 95% 1,22 – 1,31 , $p < 0,0001$).

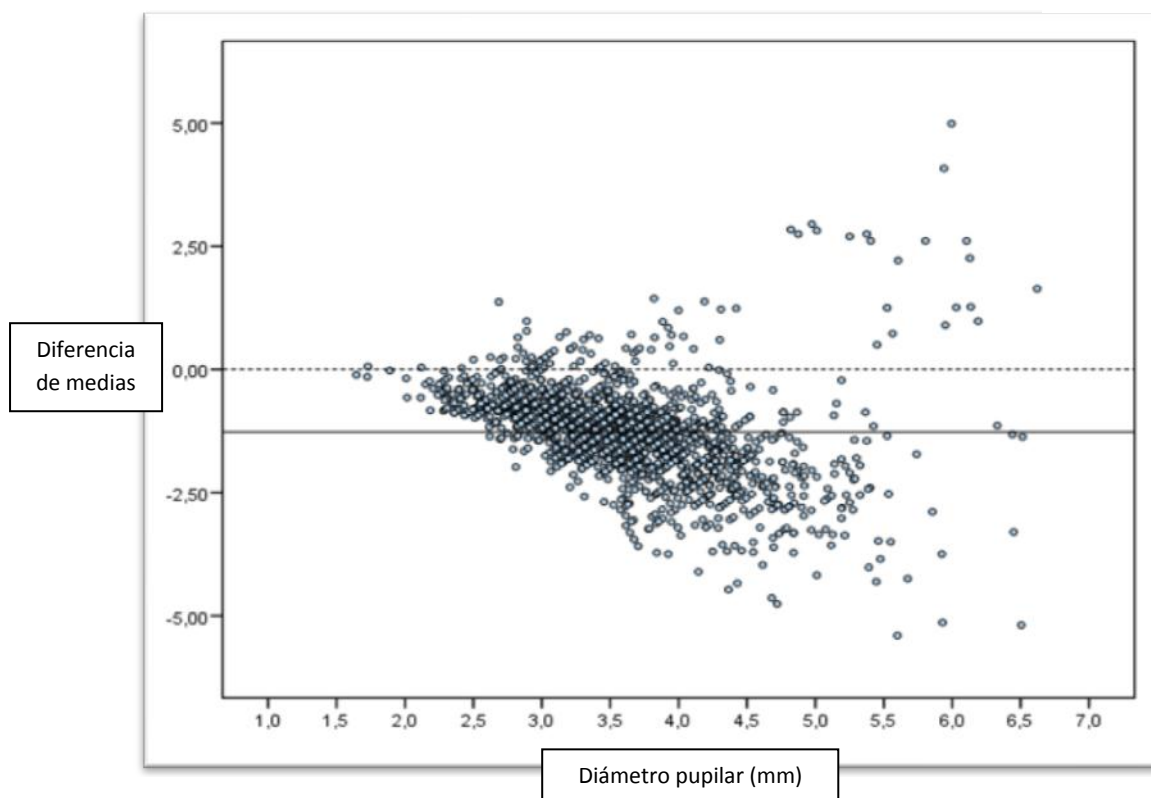


Figura 91: Análisis de Bland Altman para el diámetro pupilar, medido con Pentacam® e IOL Master®. Se observa una gran variabilidad.

RESULTADOS

CAPÍTULO 5: LA MALLA TRABECULAR.

Se ha identificado la malla trabecular mediante tomografía de coherencia óptica de segmento anterior, y se han realizado diferentes mediciones sobre la misma, en cuanto a su longitud, grosor y área.

Además se han relacionado éstas medidas con el resto de variables demográficas y oculares estudiadas.

5.1.- ESTUDIO DESCRIPTIVO DE LA MALLA TRABECULAR:

5.1.1.- LONGITUD DE LA MALLA TRABECULAR:

La longitud media de la malla trabecular fue de $504,91 \pm 103,21$ micras (rango 263 a 904) para el total de ojos, cumpliendo una distribución de normalidad.

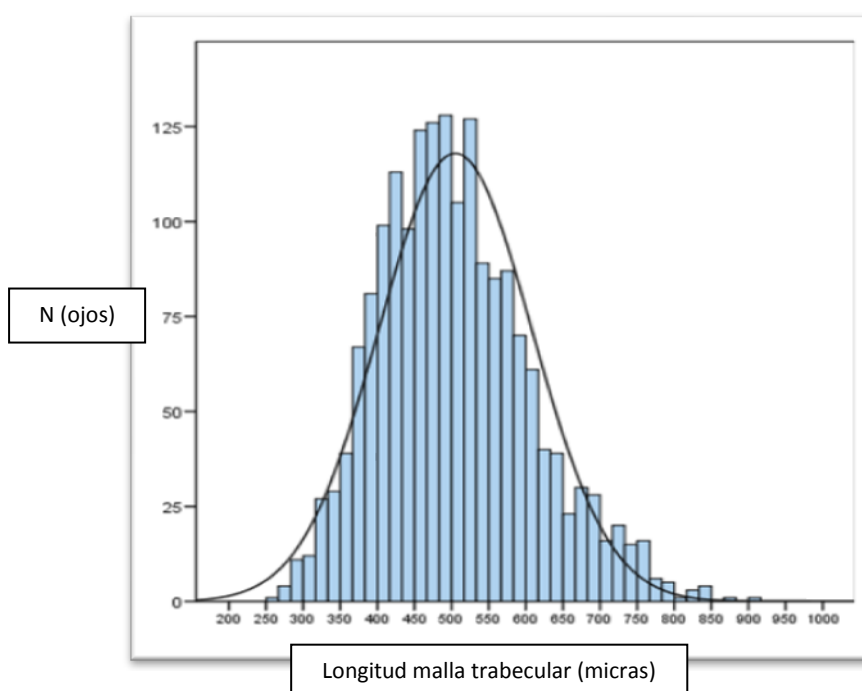
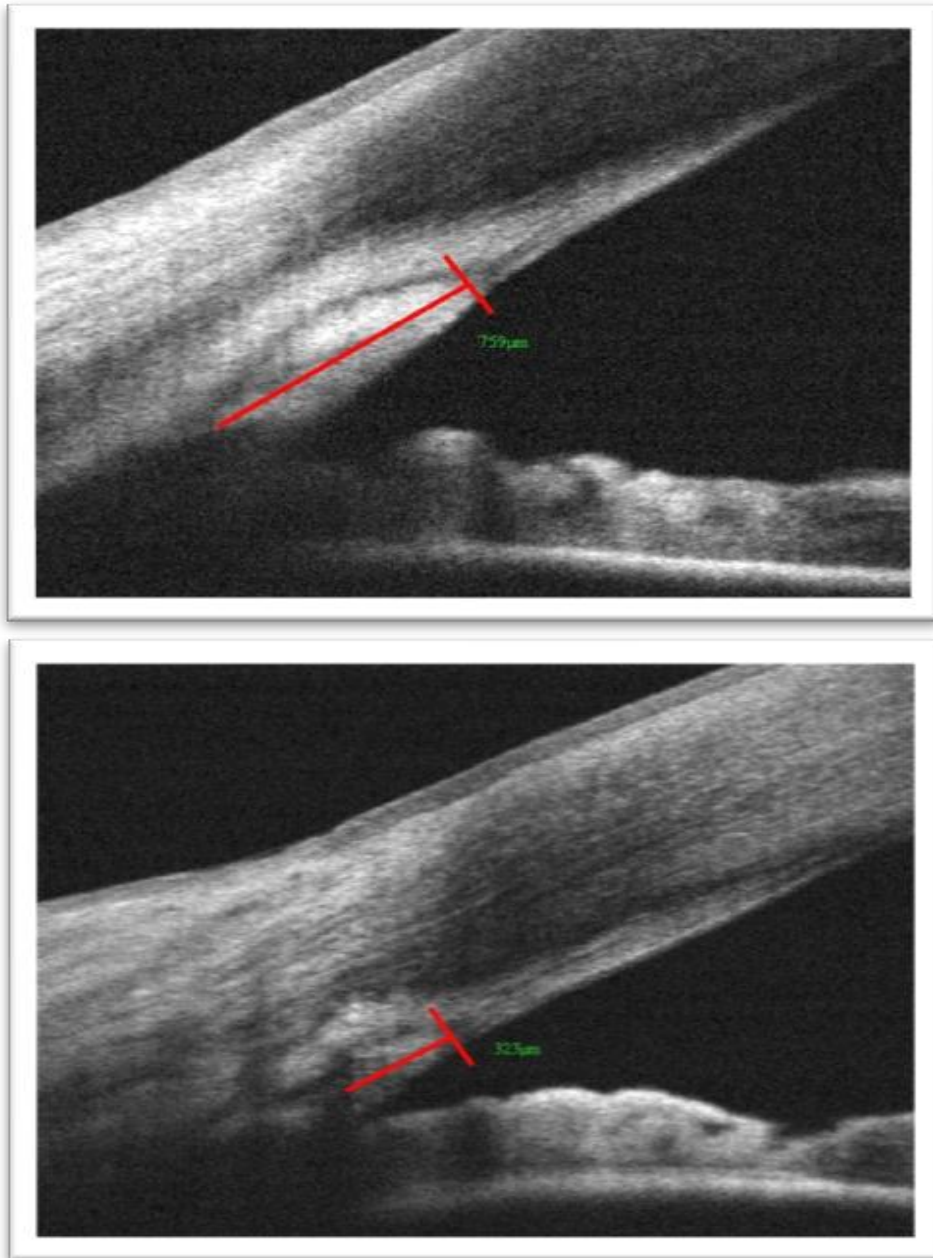


Figura 92: Distribución de la longitud de la M.T.

RESULTADOS



Figuras 93 y 94: en la imagen superior se aprecia una malla trabecular con una gran longitud, mientras que en la imagen inferior se observa una longitud de la M.T muy inferior.

En los OD la longitud media fue de $514,40 \pm 112,03$ micras, mientras que en los OI la media fue de $496,99 \pm 92,77$ micras. La diferencia de medias intrapaciente entre los ojos derechos y los ojos izquierdos fue de 17,41 micras (IC 95% 9,39 a 25,42) lo que representa que los OD presentaron una longitud media de la M.T un 3,38% mayor que los OI.

La correlación media entre los ojos derechos y los ojos izquierdos intrapaciente fue de $r = 0,325$ ($p < 0,0001$). En cuanto a las diferencias existentes entre los ojos derechos e izquierdos intrapaciente, en el 64,2% de los pacientes se observó una diferencia mayor o igual del 10% en la longitud de la MT entre su OD y su OI. En el 38,2% y en el 19,1% de los pacientes se encontró una diferencia mayor o igual del 20% y mayor o igual del 30% respectivamente, en cuanto a la longitud de la MT entre su OD y su OI.

5.1.2.- GROSOR DE LA MALLA TRABECULAR:

El grosor medio de la M.T fue de $170,41 \pm 29,29$ micras para el total de ojos (rango 18 a 276) cumpliendo una distribución de normalidad.

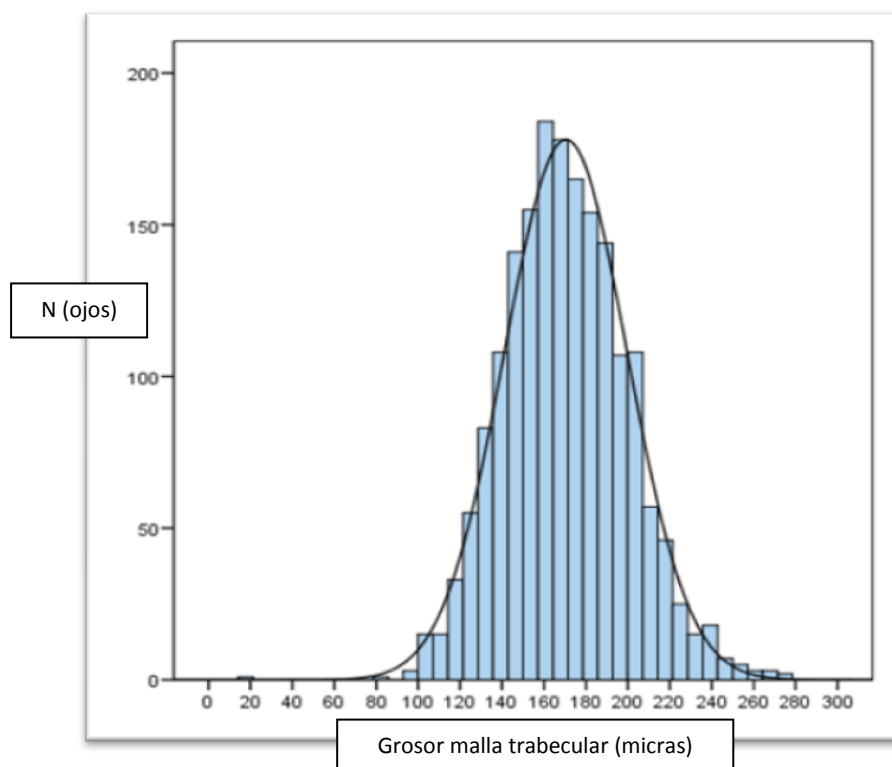
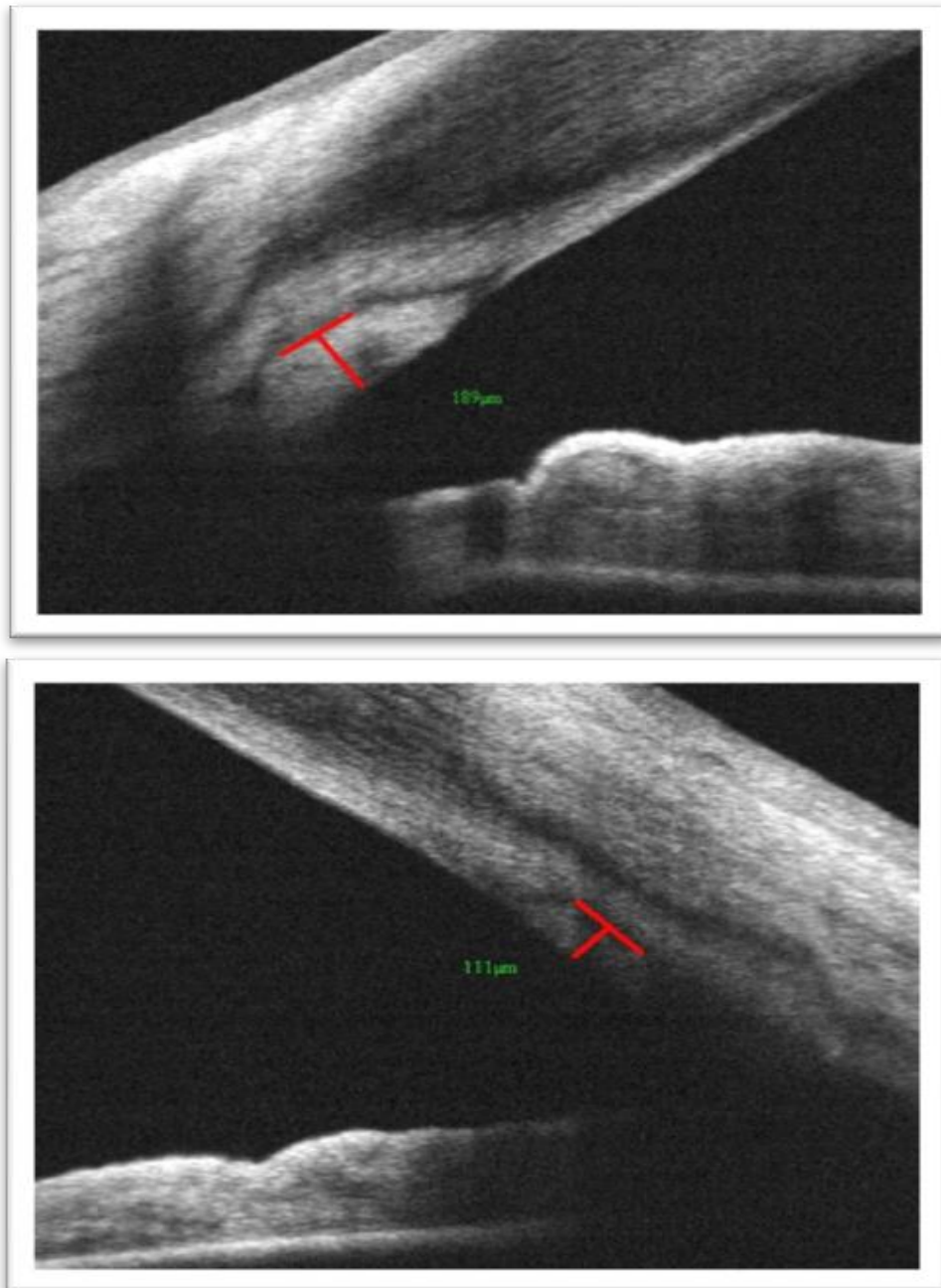


Figura 95: Distribución del grosor de la M.T.

RESULTADOS



Figuras 96 y 97: en la imagen superior se aprecia una malla trabecular con un grosor ligeramente superior a la media, mientras que en la imagen inferior se observa un grosor de la malla claramente inferior a la media.

En los OD el grosor medio fue de $167,08 \pm 29,64$ micras, mientras que en los OI fue de $174,16 \pm 28,14$ micras. La diferencia de medias intrapaciente entre los ojos derechos y los ojos izquierdos fue de 7,08 micras (IC 95% 4,98 a 9,17), siendo mayor en ojos izquierdos, lo que representa que estos presentaron un grosor medio de la M.T un 4,23% mayor que los OD.

La correlación media entre los ojos derechos y los ojos izquierdos intrapaciente fue de $r = 0,411$ ($p < 0,0001$). En cuanto a las diferencias existentes entre los ojos derechos e izquierdos intrapaciente, en el 60,9% de los pacientes se observó una diferencia mayor o igual del 10% en la longitud de la MT entre su OD y su OI. En el 29,4% y en el 13,1% de los pacientes se encontró una diferencia mayor o igual del 20% y mayor o igual del 30% respectivamente, en cuanto a la longitud de la MT entre su OD y su OI.

5.1.3.- AREA DE LA MALLA TRABECULAR:

El área media de la malla trabecular fue de $0,067 \pm 0,019 \text{ mm}^2$ para el total de ojos (rango 0,020 a 0,160).

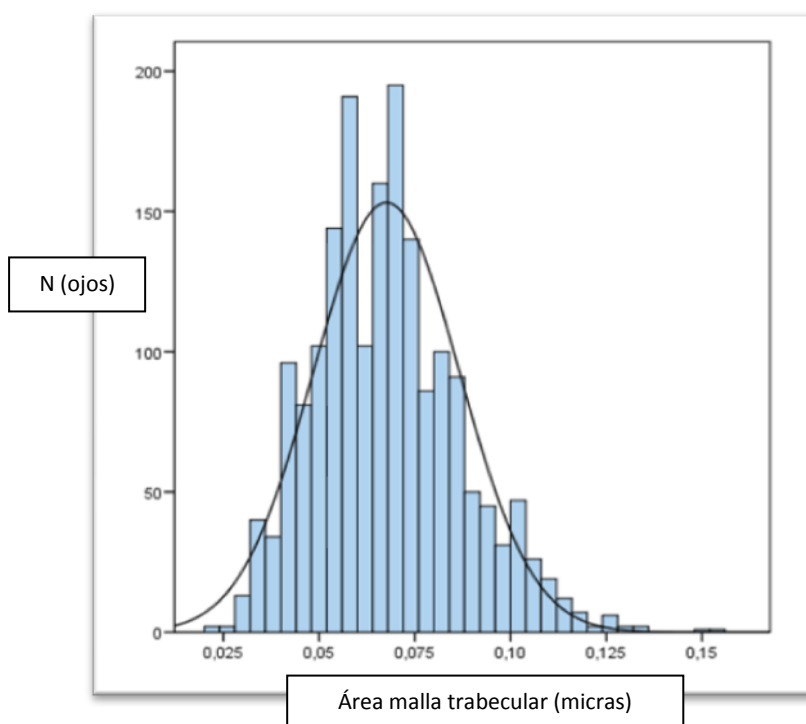
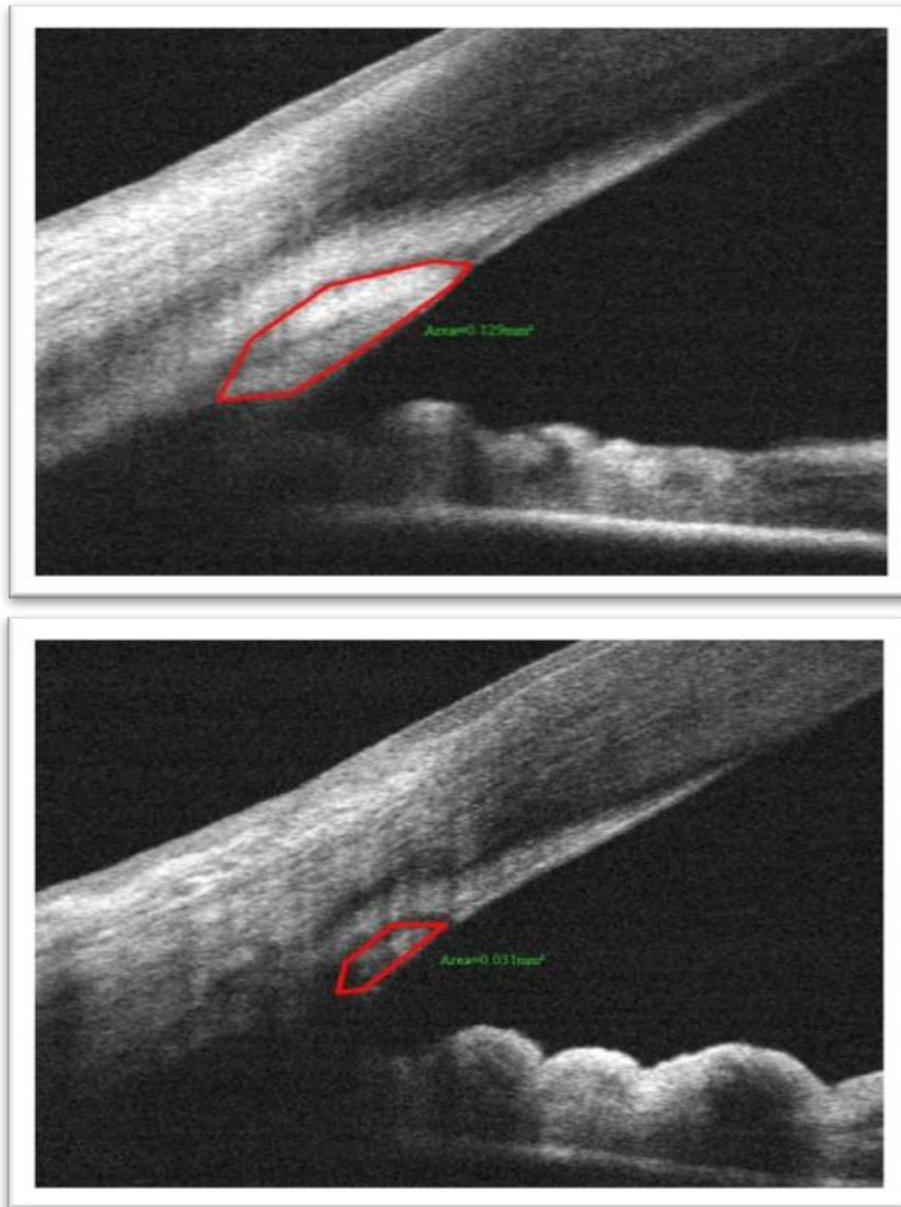


Figura 98: Distribución del área de la M.T.

RESULTADOS



Figuras 99 y 100: en la imagen superior se aprecia una malla trabecular con un gran área, mientras que en la imagen inferior se observa un área de la malla muy reducida.

En los OD el área media de la M.T fue de $0,067 \pm 0,020 \text{ mm}^2$, mientras que en los OI el área media fue de $0,068 \pm 0,018 \text{ mm}^2$. La diferencia de medias intrapaciente entre los ojos derechos y los ojos izquierdos fue de $0,0012 \text{ mm}^2$ (IC 95% -0,0027 a 0,0001) lo que representa que la diferencia entre los OD y los OI en cuanto al área de la MT. Fue de un 3,38%.

La correlación media entre los ojos derechos y los ojos izquierdos intrapaciente fue de $r = 0,359$ ($p < 0,0001$). En cuanto a las diferencias existentes entre los ojos derechos e izquierdos intrapaciente, en el 75,4% de los pacientes se observó una diferencia mayor

o igual del 10% en la longitud de la MT entre su OD y su OI. En el 52,6% y en el 33,8% de los pacientes se encontró una diferencia mayor o igual del 20% y mayor o igual del 30% respectivamente, en cuanto al área de la MT entre su OD y su OI.

5.2. ESTUDIO DE RELACIÓN DE LA MALLA TRABECULAR CON EL SEXO.

Se ha podido medir la malla trabecular en 1831 ojos de 960 pacientes (de un total de 2012 ojos, lo que supone un 91%), de los cuales 699 ojos pertenecían a hombres y 1132 a mujeres.

En cuanto a la relación del sexo con las medidas de la malla trabecular, los resultados se exponen en las siguientes tablas.

LONGITUD M.T.				
	Media (micras)	D.E (micras)	Diferencia media (micras)	Significación (p)
H	507,44	105,95	4,41	0,376
M	503,03	101,47		

Tabla 32: Longitud de la M.T estratificada según el sexo.

GROSOR M.T.				
	Media (micras)	D.E (micras)	Diferencia media (micras)	Significación (p)
H	172,21	28,28	2,91	0,039
M	169,30	29,92		

Tabla 33: Grosor de la M.T estratificada según el sexo.

ÁREA M.T.				
	Media (micras)	D.E (micras)	Diferencia media (micras)	Significación (p)
H	0,069	0,034	0,002	0,155
M	0,067	0,025		

Tabla 34: Área de la M.T estratificada según el sexo.

RESULTADOS

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la longitud y el área de la malla trabecular entre los hombres y las mujeres. Sin embargo, fue estadísticamente significativo que los hombres presentaron una malla trabecular de mayor grosor medio que las mujeres, siendo ésta diferencia menor de 3 micras, por lo que no es clínicamente relevante.

5.3. ESTUDIO GENERAL DE CORRELACIONES.

Se ha realizado un estudio para valorar si existe correlación entre la longitud, el grosor o el área de la malla trabecular con el resto de los parámetros estudiados, ya sean de la morfometría del globo ocular o características de los individuos.

Las correlaciones más fuertes de la longitud de la M.T se observaron con el grosor y el área de la misma.

CORRELACIÓN DE LA LONGITUD DE LA MALLA TRABECULAR CON:		
Parámetro	Correlación	P
Abertura angular OCT	0,051	0,029
Profundidad C. A. Pentacam	0,084	<0,0001
Profundidad C.A. IOL Master	0,089	<0,0001
Longitud axial	0,065	0,006
Defecto refractivo esférico	-0,086	<0,0001
Edad	-0,056	0,017
PIO	0,027	0,251
Paquimetría	-0,022	0,361
Volumen C.A	0,081	0,001
Diámetro pupilar Pentacam	0,026	0,268
Diámetro pupilar IOL Master	-0,003	0,904
Blanco-blanco	0,01	0,99
Grosor de la malla trabecular	0,397	<0,0001
Área de la malla trabecular	0,769	<0,0001
Grosor del iris	0,041	0,083

Tabla 35: Resultados de la correlación de la longitud de la M.T frente a otros parámetros estudiados.

Así mismo, las correlaciones más fuertes del grosor de la M.T se observaron con la longitud y el área de la misma.

CORRELACIÓN DEL GROSOR DE LA MALLA TRABECULAR CON:		
Parámetro	Correlación	P
Abertura angular OCT	0,100	<0,0001
Profundidad C. A. Pentacam	0,125	<0,0001
Profundidad C.A. IOL Master	0,133	<0,0001
Longitud axial	0,065	0,006
Defecto refractivo esférico	-0,125	<0,0001
Edad	-0,049	0,038
PIO	-0,027	0,253
Paquimetría	0,032	0,177
Volumen C.A	0,090	<0,0001
Diámetro pupilar Pentacam	0,004	0,880
Diámetro pupilar IOL Master	-0,003	0,904
Blanco-blanco	-0,032	0,182
Longitud de la malla trabecular	0,397	<0,0001
Área de la malla trabecular	0,721	<0,0001
Grosor del iris	0,050	0,031

Tabla 36: Resultados de la correlación del grosor de la M.T frente a otros parámetros estudiados.

RESULTADOS

Con respecto al área de la M.T las correlaciones más fuertes también fueron las referidas al grosor y la longitud de la misma.

CORRELACIÓN DEL ÁREA DE LA MALLA TRABECULAR CON:		
Parámetro	Correlación	P
Abertura angular OCT	0,072	0,002
Profundidad C.A. Pentacam	0,111	0,001
Profundidad C.A. IOL Master	0,124	<0,0001
Longitud axial	0,110	<0,0001
Defecto refractivo esférico	-0,131	<0,0001
Edad	-0,061	0,01
PIO	-0,005	0,834
Paquimetría	-0,007	0,765
Volumen C.A	0,097	<0,0001
Diámetro pupilar Pentacam	0,001	0,973
Blanco-blanco	0,034	0,154
Longitud de la malla trabecular	0,769	<0,0001
Grosor de la malla trabecular	0,721	<0,0001
Grosor del iris	0,047	0,046

Tabla 37: Resultados de la correlación del área de la M.T frente a otros parámetros estudiados.

RESULTADOS

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL ÁNGULO: PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA ABERTURA ANGULAR.

6.1 PARÁMETROS ESTUDIADOS:

En primer lugar se analizan los parámetros angulares clásicos, el AOD y el TISA.

6.1.1.- Distancia de abertura angular (AOD).

La AOD₅₀₀ media fue de $539,13 \pm 287,83$ micras para el total de ojos (rango 15 a 1770).

En los OD la AOD₅₀₀ media fue de $540,59 \pm 293,05$ micras, mientras que en los OI fue de $542,58 \pm 285,44$ micras. La correlación entre los ojos derechos y los ojos izquierdos intrapaciente, es decir, comparando los ojos derechos frente a los ojos izquierdos en cada uno de los pacientes del estudio fue de 0,880 ($p < 0,0001$).

La media de la diferencia entre los ojos derechos y los ojos izquierdos fue de $1,99 \pm 142,03$ micras (IC al 95% -11,49 a 7,5 micras, $p = 0,681$), lo que representa que se observó una diferencia de un 0,36% en la distancia de abertura angular entre los ojos derechos y los ojos izquierdos.

6.1.2.- Área iridotrabecular (TISA).

El TISA₅₀₀ medio fue de $0,193 \pm 0,103 \text{ mm}^2$ para el total de ojos (rango 0,02 a 0,62).

En los OD el TISA₅₀₀ medio fue de $0,193 \pm 0,104 \text{ mm}^2$, mientras que en los OI fue de $0,195 \pm 0,103 \text{ mm}^2$. La correlación entre ojo derecho y ojo izquierdo intrapaciente, es decir, comparando los ojos derechos frente a los ojos izquierdos en cada uno de los pacientes del estudio es de 0,870 ($p < 0,0001$).

RESULTADOS

La media de la diferencia entre los ojos derechos y los ojos izquierdos fue de $0,002 \pm 0,052 \text{ mm}^2$ (IC al 95% $-0,006$ a $0,0008 \text{ mm}^2$, $p=0,142$), lo que representa que se observó una diferencia de un 1,37% en la medida del área iridotrabecular entre los ojos derechos y los ojos izquierdos.

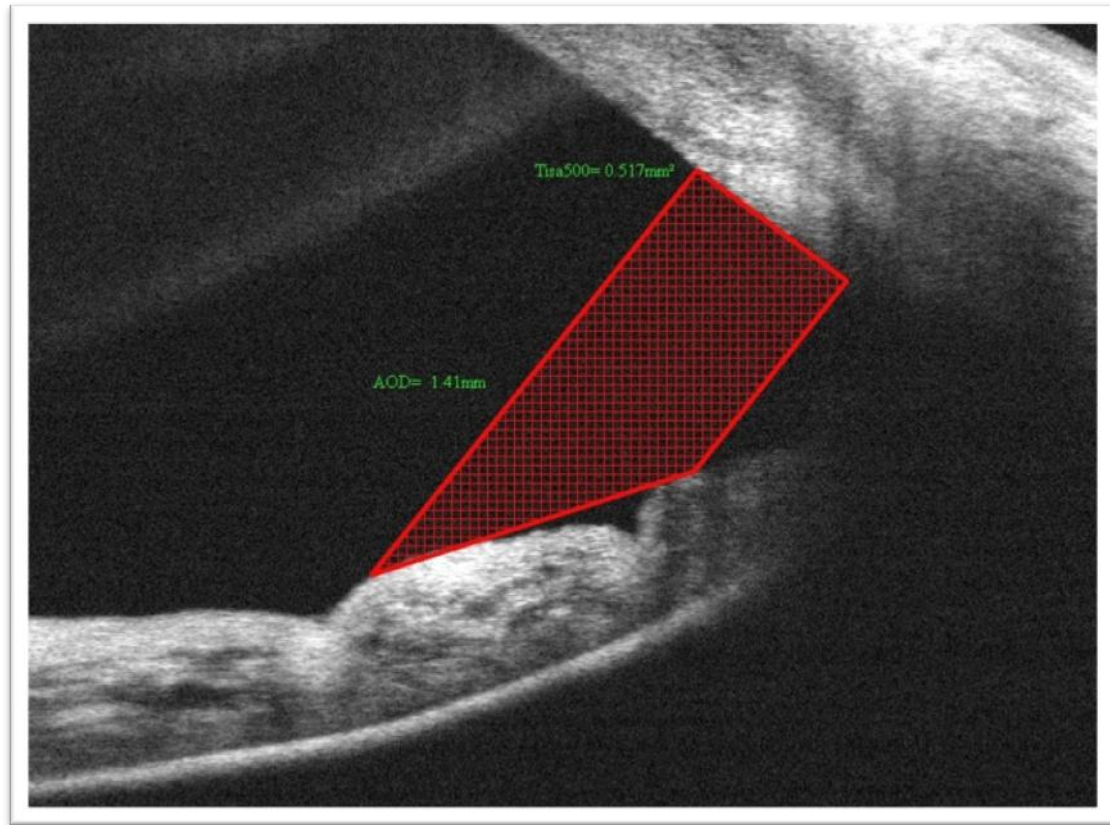


Figura 101: Gran AOD y TISA en un ángulo muy abierto.

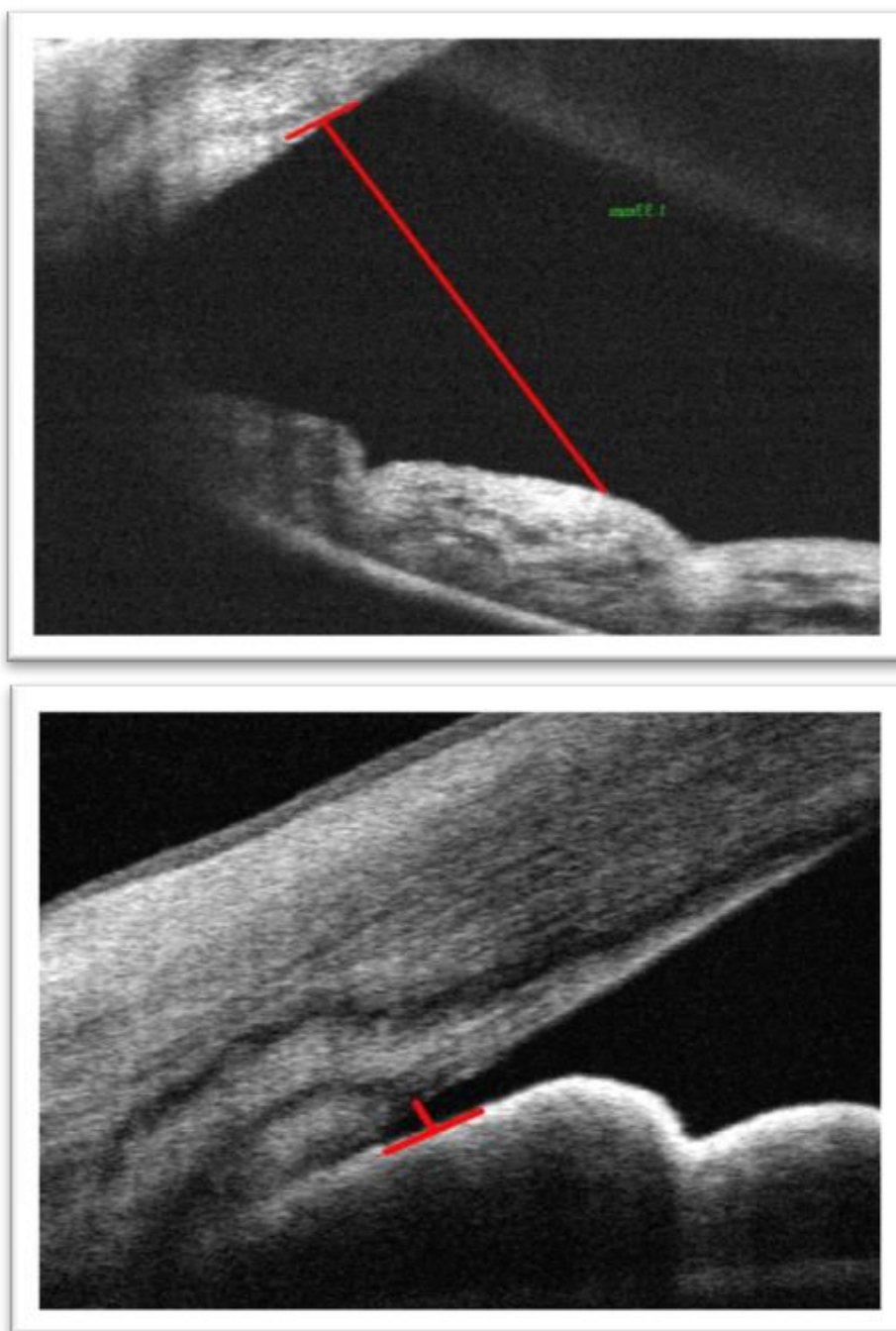
Se estudian a continuación los parámetros originales propuestos.

6.1.3.- Distancia iris-malla (DIM).

La DIM media fue de $540,28 \pm 278,68$ micras para el total de ojos (rango 19 a 1720).

En los OD el DIM medio fue de $544,43 \pm 285,25$ micras, mientras que en los OI fue de $540,98 \pm 274,46$ micras. La correlación entre los ojos derechos y los ojos izquierdos intrapaciente, es decir, comparando los ojos derechos frente a los ojos izquierdos en cada uno de los pacientes del estudio fue de 0,883 ($p<0,0001$).

La media de la diferencia entre los ojos derechos y los ojos izquierdos fue de $3,45 \pm 142,03$ micras (IC al 95% -5,63 a 12,54 micras, $p=0,455$), lo que representa una diferencia de 0,63% en la medida de la distancia iris-malla entre los ojos derechos y los ojos izquierdos.



Figuras 102 y 103: en la imagen de la superior se observa una distancia muy amplia desde el inicio de la malla hasta el iris. Por el contrario, en la imagen inferior, esta distancia es muy reducida, de apenas unas micras.

6.1.4.- Área pretrabecular.

El área pretrabecular medio es de $0,215 \pm 0,130 \text{ mm}^2$ para el total de ojos (rango 0,02 a 0,62).

En los OD el área pretrabecular medio fue de $0,219 \pm 0,138 \text{ mm}^2$, mientras que en los OI fue de $0,214 \pm 0,123 \text{ mm}^2$.

La media de la diferencia entre ambos ojos es de $0,005 \pm 0,083$ micras (IC al 95% - 0,00028 a 0,0108), lo que supone una diferencia de 2,40% entre ambos ojos. No hay diferencias significativas en las medias entre ambos ojos ($p=0,063$).

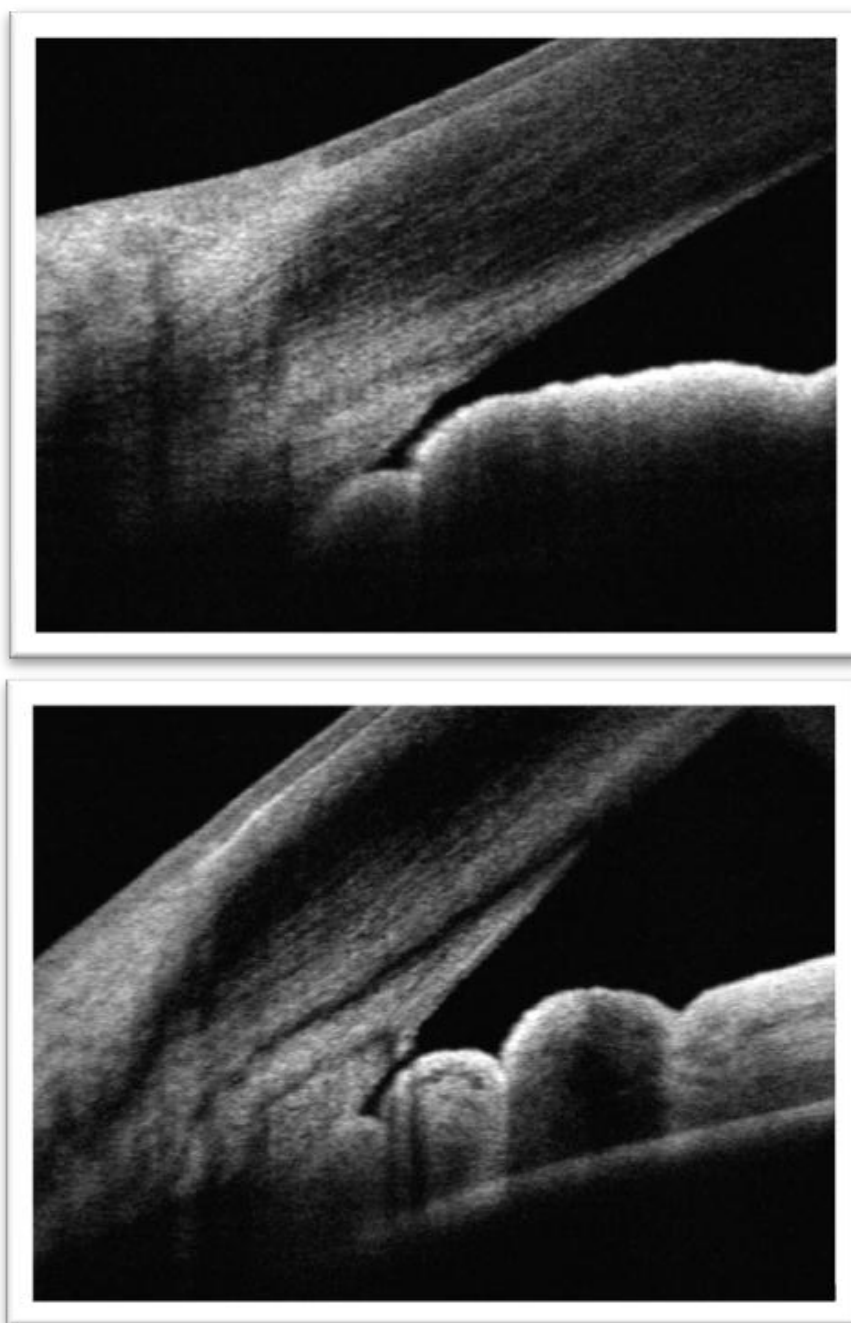
La correlación entre ojo derecho y ojo izquierdo intrapaciente, es decir, comparando los ojos derechos frente a los ojos izquierdos en cada uno de los pacientes del estudio es de 0,805 ($p<0,0001$).

6.1.5.- Longitud de contacto iridotrabecular (TICL).

Se encontró que existía un contacto iridotrabecular en 34 ojos de 25 pacientes de un total de 2012 ojos, lo que representa un 1,6%. Todos los ojos que presentaban contacto iridotrabecular tenían una abertura angular menor de 15 grados.

El TICL medio fue de $238,97 \pm 79,04$ micras (rango 103 a 495 micras).

El TICL porcentual medio fue de $46,98 \pm 13,87\%$ (rango 17,2 a 76,3%).



Figuras 103 y 104: en la imagen superior se aprecia un contacto iridotrabecular escaso, que supone menos de la mitad la longitud trabecular. En el caso de la imagen inferior este contacto es mayor ya que la mitad de la longitud trabecular.

6.2 ESTUDIO DE CORRELACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANGULARES:

Se ha analizado la correlación existente entre las diferentes medidas angulares y el resto de variables o parámetros recogidos en el estudio.

A continuación se muestran los resultados. En la primera tabla se exponen las correlaciones del AOD y del DIM, y en la siguiente los resultados de las correlaciones entre el TISA y el área pretrabecular.

Parámetro	AOD	DIM
Edad	-0,462 (p<0,0001)	-0,477 (p<0,0001)
PIO	-0,071 (p<0,003)	-0,070 (p<0,003)
Prof. CA (Pentacam)	0,801 (p<0,0001)	0,800 (p<0,0001)
Abertura angular temporal (Pentacam)	0,457 (p<0,0001)	0,453 (p<0,0001)
Abertura angular nasal (Pentacam)	0,637 (p<0,0001)	0,640 (p<0,0001)
Paquimetría	-0,078 (p<0,001)	-0,078 (p<0,001)
Volumen CA	0,820 (p<0,0001)	0,820 (p<0,0001)
Diámetro pupilar (Pentacam)	0,209 (p<0,0001)	0,202 (p<0,001)
Prof. CA (IOL Master)	0,796 (p<0,0001)	0,799 (p<0,0001)
Blanco-Blanco	0,218 (p<0,0001)	0,214 (p<0,0001)
Longitud axial	0,647 (p<0,0001)	0,646 (p<0,0001)
Diámetro pupilar (IOL Master)	0,166 (p<0,0001)	0,154 (p<0,0001)
Defecto refractivo esférico	-0,625 (p<0,0001)	-0,633 (p<0,0001)
Equivalente esférico	-0,660 (p<0,0001)	-0,657 (p<0,0001)
Longitud M.T	0,013 (p=0,571)	0,188 (p<0,0001)
Grosor M.T	0,033 (p=0,154)	0,112 (p<0,0001)
Área M.T	0,008 (p=0,729)	0,148 (p<0,0001)
Abertura angular (OCT)	0,929 (p<0,0001)	0,905 (p<0,0001)
AOD	1	0,946 (p<0,0001)
TISA	0,969 (p<0,0001)	0,930 (p<0,0001)
DIM	0,946 (p<0,0001)	1
Área pretrabecular	0,858 (p<0,0001)	0,939 (p<0,0001)
Grosor del iris	0,190 (p<0,0001)	0,185 (p<0,0001)

Tabla 38: Resultados de la correlación del AOD y DIM frente a otros parámetros estudiados.

Parámetro	TISA	ÁREA PRETRABECULAR
Edad	-0,430 (p<0,0001)	-0,428 (p<0,0001)
PIO	-0,078 (p<0,001)	-0,076 (p<0,0001)
Prof. CA (Pentacam)	0,758 (p<0,0001)	0,717 (p<0,0001)
Abertura angular temporal (Pentacam)	0,416 (p<0,0001)	0,381 (p<0,0001)
Abertura angular nasal (Pentacam)	0,587 (p<0,0001)	0,555 (p<0,0001)
Paquimetría	-0,070 (p=0,003)	-0,068 (p=0,004)
Volumen CA	0,775 (p<0,0001)	0,730 (p<0,0001)
Diámetro pupilar (Pentacam)	0,177 (p<0,0001)	0,175 (p<0,0001)
Prof. CA (IOL Master)	0,750 (p<0,0001)	0,713 (p<0,0001)
Blanco-Blanco	0,206 (p<0,0001)	0,189 (p<0,0001)
Longitud axial	0,624 (p<0,0001)	0,588 (p<0,0001)
Diámetro pupilar (IOL Master)	0,144 (p<0,0001)	0,126 (p<0,0001)
Defecto refractivo esférico	-0,603 (p<0,0001)	-0,582 (p<0,0001)
Equivalente esférico	-0,635 (p<0,0001)	-0,571 (p<0,0001)
Longitud M.T	-0,001 (p=0,962)	0,348 (p<0,0001)
Grosor M.T	0,029 (p=0,215)	0,166 (p<0,0001)
Área M.T	-0,003 (p=0,885)	0,267 (p<0,0001)
Abertura angular (OCT)	0,873 (p<0,0001)	0,789 (p<0,0001)
AOD	0,969 (p<0,0001)	0,858 (p<0,0001)
TISA	1	0,884 (p<0,0001)
DIM	0,930 (p<0,0001)	0,939 (p<0,0001)
Área pretrabecular	0,884 (p<0,0001)	1
Grosor del iris	0,214 (p<0,0001)	0,210 (p<0,0001)

Tabla 39: Resultados de la correlación del TISA y del área pretrabecular frente a otros parámetros estudiados.

6.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS DE MEDIDA DEL ÁNGULO: parámetros clásicos versus parámetros originales propuestos.

El AOD y el TISA se trazan a 500 o 750 micras del espolón escleral, pero no tienen en cuenta la gran variabilidad que existe en cuanto a la longitud de la malla. La longitud de la malla trabecular presenta una distribución de normalidad, siendo la media de $504,91 \pm 103,21$ micras (rango 263 – 904). En nuestra muestra existen 580 ojos (de un total de 1831 en los que se pudo medir la malla trabecular), lo que supone un 32% del total de ojos, que presentan una longitud de la malla por fuera de la media ± 1 D.S, es decir, por debajo de 401 micras o por encima de 607 micras (la media ± 1 D.S incluye el 68% de los valores centrales).

El DIM y el Área pretrabecular son medidas que tienen en consideración siempre toda la longitud de la malla.

El DIM, como se puede apreciar en la siguiente tabla, tiene en cuenta el efecto de la longitud de la M.T, mientras que el AOD es independiente de la longitud de la misma.

LONGITUD DE LA MALLA TRABECULAR (micras)	AOD	DIM
< 300	$579,12 \pm 329,53$	$484,56 \pm 293,97$
300 – 400	$535,09 \pm 279,45$	$480,46 \pm 244,92$
400 – 500	$531,63 \pm 276,69$	$502,82 \pm 254,27$
500 – 600	$539,53 \pm 297,39$	$555,48 \pm 284,90$
600 – 700	$571,78 \pm 303,04$	$644,46 \pm 308,93$
> 700	$520,01 \pm 290,17$	$663,54 \pm 320,05$

Tabla 40: Resultados del AOD y del DIM según la longitud de la malla trabecular.

En el estudio de correlaciones, como se ha observado en la tabla 38, se aprecia que existe una correlación más fuerte entre el DIM con la longitud de la MT ($r=0,188$), que la existente entre el AOD con la longitud de la MT ($r= 0,013$). En cuanto a la correlación del DIM con el grosor y el área de la malla ($r= 0,112$ y $r= 0,148$) son también más fuertes que las existentes entre el TISA y el grosor y área de la misma ($r= 0,033$ y $r= 0,008$).

Sin embargo, en cuanto a la correlación entre el AOD y el DIM con la abertura angular no existen diferencias ($r=0,929$ frente a $r=0,905$ respectivamente).

Las correlaciones entre el AOD y el DIM con respecto al resto de parámetros estudiados son muy similares, como se puede apreciar en la tabla 38.

En el estudio de correlaciones, como se ha observado en la tabla 39, se aprecia que existe una correlación más fuerte entre el Área pretrabecular con la longitud de la MT ($r=0,348$), que la existente entre el TISA con la longitud de la MT ($r= -0,001$). En cuanto a la correlación del Área pretrabecular con el grosor y el área de la malla ($r= 0,166$ y $r= 0,267$) son también más fuertes que las existentes entre el TISA y el grosor y área de la misma ($r= 0,029$ y $r= -0,003$).

Por el contrario, las correlaciones entre el TISA y el Área pretrabecular con la abertura angular son muy similares ($r=0,873$ frente a $r=0,789$ respectivamente).

Las correlaciones entre el TISA y el área pretrabecular son muy similares en cuanto al resto de parámetros estudiados, como se puede apreciar en la tabla 39.

En aquellos ángulos en los que existe un contacto iridotrabecular, no se pueden medir el AOD y el TISA por no ser posible la realizar la medida desde el espolón escleral, como se aprecia en la figura 105.

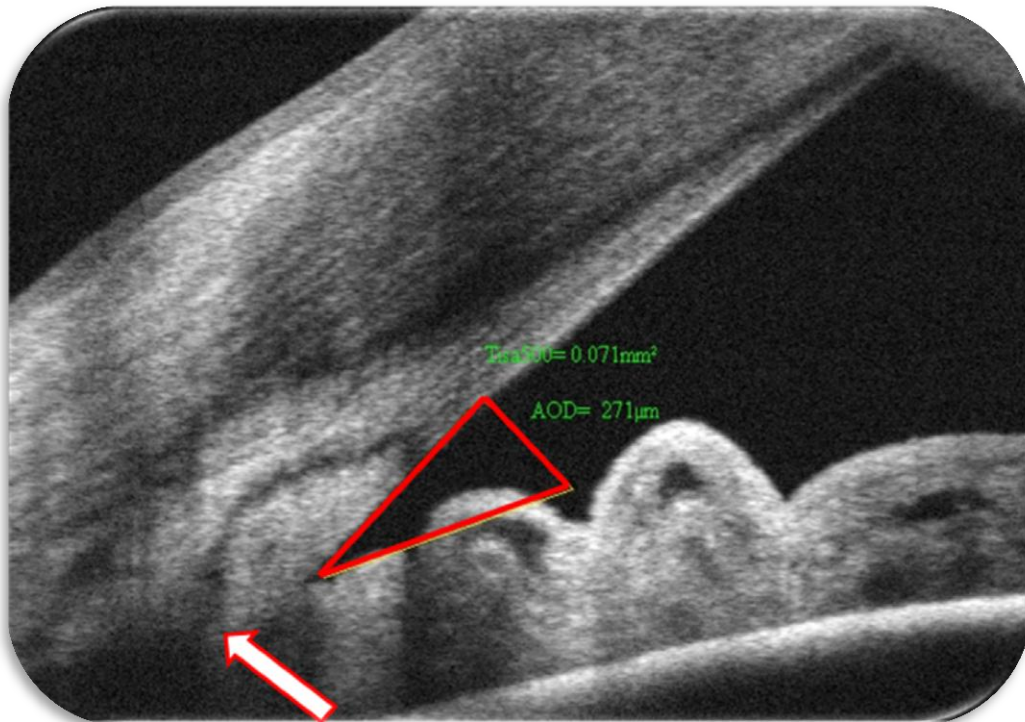


Figura 105: En la imagen se aprecia que existe un contacto iridotrabecular, y por tanto la medida del AOD y el TISA no se puede medir desde el espolón escleral (que está señalado con la flecha).

DISCUSIÓN

DISCUSIÓN:

Para desarrollar éste apartado analizaremos los resultados atendiendo al siguiente orden: discusión sobre las características de la población a estudio, reproducibilidad de la técnica, identificación de las estructuras, abertura angular, malla trabecular y finalmente discusión respecto a los parámetros angulares.

Para concluir expondremos las limitaciones y puntos débiles de éste trabajo y las aportaciones originales y repercusión que puede tener.

En nuestra hipótesis planteamos que la OCT-SA FD es una técnica eficaz para el estudio del ángulo de la cámara anterior. Para su validación hemos desarrollado un protocolo de estudio cuyos resultados comentamos a continuación.

El gran objetivo de la OCT-SA es calificar y cuantificar el ángulo camerular para establecer protocolos de tratamiento.¹⁶⁷ Es responder a cuestiones clínicas aplicadas como conocer cuál es el ángulo normal, y más específicamente cuál es la abertura normal y de qué factores depende. Y en función de las respuestas ¿cuándo un ángulo debe considerarse estrecho, potencialmente ocluíble o ya cerrado?. Y por tanto ¿cuándo debe practicarse una iridotomía profiláctica?.

Hasta hace poco tiempo las respuestas a estas cuestiones venían dadas por la exploración clásica, la gonioscopia.^{9,39} Por ello ha sido considerada el método de referencia y los primeros trabajos se ocuparon de buscar el correlato gonioscópico-tomográfico del ángulo para validar su información.^{157,168} Numerosos autores compararon los hallazgos gonioscópicos con los obtenidos, primero con la BMU y posteriormente con la OCT.^{169,170,171,172,173,174,175}

1. DISCUSIÓN RESPECTO A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN A ESTUDIO.

Hemos trabajado con 3 poblaciones diferentes para realizar el estudio. Todas ellas compuestas por pacientes que acudieron a una revisión oftalmológica, y que cumplían los criterios de inclusión y exclusión detallados previamente. Por lo tanto, no es un estudio de campo y las poblaciones no fueron seleccionadas.

Se escogieron sujetos sanos para intentar, mediante su estudio y medición, establecer unos criterios concretos y razonables necesarios para sentar las bases de la normalidad y con ello poder diferenciarla de la enfermedad. En éste aspecto los datos aportados pueden ser útiles.

Las 3 poblaciones son: 1) la empleada en el estudio de reproducibilidad que se compone de 100 ojos de 50 pacientes, y que es una subpoblación o una muestra extraída al azar de la población general compuesta por 2.012 ojos; 2) la empleada en la identificación de estructuras que consta de 507 ojos de 267 pacientes, y que es una muestra de pacientes independientes, por ser el primer estudio que se llevó a cabo; y 3) la población que llamamos general, por ser la más grande de ellas y que está compuesta por 2.012 ojos de 1.006 pacientes, y es de la que se derivan los resultados tanto de la abertura angular, como de la malla trabecular y del resto de parámetros angulares estudiados.

Hemos decidido incluir a todos los pacientes que cumplieron los criterios de inclusión y exclusión en el estudio aunque no se pudiera recoger algunos de los datos o parámetros estudiados en el mismo, ya que uno de los objetivos del trabajo era conocer el porcentaje de casos en los que se pudo medir por ejemplo la malla trabecular o la abertura angular mediante OCT, o la profundidad de la cámara anterior con el Pentacam o la longitud axial con el IOL Master.

Con respecto a la edad, en el estudio de reproducibilidad la media fue de 54,6 años, similar a la de la población general, que fue de 49 años. En el estudio de identificación de estructuras sin embargo la edad media fue algo menor, siendo de 41,3 años. Los rangos de edad de las poblaciones fueron muy similares comenzando todas desde los

18 años, y alcanzando un máximo de 80, 82 y 84 años para la reproducibilidad, la identificación de estructuras, y la población general respectivamente.

En cuanto al porcentaje de hombres y mujeres, éste fue muy similar en las 3 poblaciones, siendo mayor en los 3 casos en las mujeres. En la población estudiada para valorar la reproducibilidad este porcentaje fue de 60,3%, mientras que en el estudio de identificación de estructuras fue de un 57,2%, siendo de 61,1% el porcentaje de mujeres en la población general.

En el estudio de identificación de estructuras, no se recogieron más parámetros demográficos u oftalmológicos que los ya citados edad y sexo.

En el estudio de reproducibilidad y en la población general, sí que se recogió el defecto refractivo esférico de ambas poblaciones, siendo de $-0,57 \pm 3,11$ y de $-0,42 \pm 3,54$ dioptrías respectivamente.

En cuanto a la población general, se recogieron además los resultados de otros parámetros tales como la PIO¹⁷⁶ que cumplía una distribución de normalidad siendo la media de $15,86 \pm 3,47$ mmHg en nuestro trabajo, valores muy similares a los ofrecidos por Sanchez Tocino y cols.¹⁷⁷ en una población española compuesta por 649 sujetos sanos (1.298 ojos). En dicho trabajo la PIO media con el tonómetro Canon TX-10, el mismo que hemos empleado en nuestro estudio, fue de $15,6 \pm 2,9$ mmHg (rango de 8 a 29), y con el tonómetro de Goldmann $15,4 \pm 2,7$ mmHg (rango de 8 a 25). La media de las diferencias de presión entre ambos tonómetros fue de $0,24 \pm 2$ mmHg. Estas diferencias fueron más significativas en niveles límite de PIO y en las corneas más gruesas. En este estudio concluyeron que la medida de la PIO con el neumotonómetro de no contacto es un método útil y fiable, y únicamente podría requerir su comprobación en casos de valores extremos de PIO y en corneas de espesor gruesas. Por tanto consideramos que la medición de la PIO con el tonómetro Canon TX 10® en nuestro trabajo para el estudio de correlaciones es fiable.

Otros trabajos como el de Grewal y cols.¹⁷⁸ en una población de indios compuesta por 265 ojos obtuvieron una PIO media de $16,2 \pm 2,8$ mmHg, relativamente similar a la nuestra.

DISCUSIÓN

Respecto a la paquimetría central medida con Pentacam obtuvimos un resultado de $549,01 \pm 32,96$ micras (rango de 471 a 643), valores muy similares a los obtenidos en una población española por el grupo de Gros-Otero y cols¹⁷⁹, en el que el espesor corneal central medio obtenido fue $548,21 \pm 30,7$ micras (rango de 464 a 633). Grewal¹⁷⁸ en una población de Indios, como ya hemos comentado, obtuvo una paquimetría central media de $539,9 \pm 37,6$ micras. El dato de la paquimetría central se recogió para estudiar su relación con la abertura camerular, con la malla trabecular y con el resto de parámetros angulares estudiados, y porque el espesor corneal central es un factor de riesgo importante para el desarrollo del glaucoma, ya que es un indicador indirecto de la estructura general y las propiedades biomecánicas del ojo.¹⁸⁰

Ante la cuestión de escoger ambos ojos de cada paciente y su posible alteración en cuanto al estudio de correlaciones, exponemos en el anexo I las correlaciones de la abertura angular, de la malla trabecular, y de los parámetros angulares, para el total de ojos (incluyendo ojos derechos e izquierdos), y ofreciendo además los datos estratificados en sólo ojos derechos y sólo ojos izquierdos.

2. DISCUSIÓN RESPECTO A LA REPRODUCIBILIDAD

Habitualmente, cuando aparece una nueva técnica diagnóstica, los primeros trabajos suelen estar encaminados a valorar la reproducibilidad de la misma.

Uno de los primeros estudios sobre reproducibilidad de esta técnica fue el llevado a cabo por Radhakrishnan y cols.¹⁸¹ en 2007, en el que estudiaron las medidas del ángulo camerular obtenidas mediante un prototipo de OCT de segmento anterior en 23 ojos de 23 pacientes, que presentaban glaucoma primario de ángulo estrecho o que eran sospechosos de un cierre angular primario. Los resultados mostraron una reproducibilidad de las imágenes obtenidas en los sectores nasal y temporal que variaba entre buena y excelente (CCI de 0,67 a 0,90) para la medida de los parámetros angulares por lo que se puede considerar a la técnica como fiable en éste aspecto.

En nuestro trabajo, una de las primeras cuestiones estudiadas, también fue la reproducibilidad de la técnica, tanto para valorar nuestro dispositivo, como la fiabilidad de las medidas de nuestros observadores. Nuestros resultados, al igual que en el trabajo de Radhakrishnan¹⁸¹, ofrecen una reproducibilidad excelente, siendo el CCI mayor de 0,96 en el estudio intraobservador y mayor de 0,94 en el estudio interobservador en la medida de la abertura angular y el resto de parámetros angulares estudiados (AOD, TISA, DIM y Área pretrabecular).

La reproducibilidad en cuanto a las medidas relacionadas con la malla trabecular en nuestro trabajo también fue muy alta, aunque algo inferior a las medidas de los parámetros angulares. Así, se observó el peor CCI en la medida del grosor de la MT tanto intra como interobservador, siendo respectivamente de 0,82 y 0,75. En cuanto a los resultados de la medida de la longitud de la MT es donde se obtuvieron los CCI más altos, siendo mayores de 0,93 tanto en el intra como en el interobservador. Por último, se observó un CCI en la medida del área de la MT tanto intra como interobservador, de 0,83 y 0,77.

En cuanto a la reproducibilidad de las medidas de la longitud y del área de la M.T, Tun y cols.¹⁸² obtuvieron en un subgrupo de 20 ojos de su estudio buenos resultados tanto en la reproducibilidad intra (diferencia de medias para la longitud de la MT de 0,029 micras) como interobservador (diferencia de medias para la longitud de la MT de 0,035 micras).

En cuanto a la reproducibilidad de la OCT en el estudio del ángulo camerular cabe destacar un estudio de las medidas del ángulo con OCT Visante entre expertos y no expertos en la técnica. Fue llevado a cabo por Tan y cols.¹⁸³ y se valoraron las medidas realizadas por 2 oftalmólogos expertos, comparándolas con 23 no expertos, que eran estudiantes de medicina. Se midieron sólo los cuadrantes horizontales del OD. La reproducibilidad fue muy alta siendo el coeficiente de correlación intraclase de 0.942 en los expertos, y de 0.906 en los no expertos, y la variabilidad intra e interobservador en expertos y en no expertos alcanzó cifras muy similares. Éste trabajo demuestra que el estudio de la abertura angular mediante OCT, es más objetivo, y es menos explorador dependiente que otras técnicas como la gonioscopia, ya que puede ser

DISCUSIÓN

llevaba a cabo por exploradores no expertos con muy buenos resultados en cuanto a fiabilidad.

Otros modelos de OCT-SA como la OCT Slit Lamp y la OCT Visante también han sido analizados en cuanto a su reproducibilidad. En 2008 Leung y cols.¹⁸⁴ realizaron un estudio comparativo en 49 sujetos sanos entre las imágenes obtenidas con estos 2 dispositivos, demostrando una alta reproducibilidad interobservador para las medidas del ángulo en cada uno de los dispositivos (CCI para las medidas del Visante fue de 0,97 a 0,99; siendo el CCI para el Slit Lamp de 0,95 a 0,99), pero siendo baja la concordancia entre ambas OCT.

Otros estudios como el de Wylegala y cols.¹⁵⁷, realizados con OCT RTVue y OCT Visante afirman que existe una buena reproducibilidad y acuerdo entre las medidas de ambos dispositivos.

También ha sido estudiada la reproducibilidad de uno de los últimos dispositivos que han aparecido en el mercado, el OCT CASIA. En noviembre de 2011 se ha publicado un artículo del grupo de trabajo de Liu S. y cols.¹⁸⁵, en el que han estudiado además de la reproducibilidad, la variabilidad de las medidas del ángulo con OCT CASIA (Swept source), también de alta resolución. Estas medidas han sido realizadas en un solo ojo de 30 pacientes, y cada paciente realizaba 3 visitas separadas cada una de ellas por una semana. En este trabajo, como en otros publicados por diferentes autores^{186,187,188} se concluye que existe una alta reproducibilidad de las medidas del ángulo.

3. DISCUSIÓN RESPECTO A LA IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS:

A medida que se estudiaba la reproducibilidad de la técnica, aceptándose que era adecuada, prosiguió el desarrollo de nuevos dispositivos cada vez más perfeccionados y con mayor poder de resolución, lo que permitió establecer con más fiabilidad y garantías las mediciones y su valor clínico. Por otra parte y como veremos en este apartado estas mejoras tecnológicas de la tomografía de coherencia óptica de segmento anterior ayudaron a cambiar algunos conceptos y permitieron la identificación de las diferentes estructuras que componen el ángulo camerular.

Con la aparición de la tomografía de segmento anterior de alta resolución Fourier Domain®, que presenta una resolución muy superior a la que ofrecen la BMU¹⁷¹, el Pentacam®¹⁷⁰, o los primeros modelos de OCT de dominio temporal¹⁵⁷ que ofrecían una imagen pobre en detalles, podemos conocer el ángulo mediante un nuevo enfoque, identificando las diferentes estructuras.¹⁸⁹

En nuestro trabajo, hemos analizado la identificación de estructuras en el ángulo iridocorneal basándonos en el estudio de la histología. Las estructuras más fácilmente visualizables y que presentaron los porcentajes de identificación más altos fueron el limbo externo, la transición córneo escleral, la línea de Schwalbe, y la malla trabecular-canal de Schlemm (99, 97, 93 y 91% respectivamente). El espolón escleral se identificó en un porcentaje muy alto de las imágenes, un 85%, pero algo inferior que las estructuras anteriormente citadas. Por último, el ápex del ángulo y la banda ciliar, fueron visualizadas en un porcentaje muy inferior con respecto al resto de estructuras estudiadas como se ha visto en el capítulo 2 de resultados.

Uno de los puntos de mayor controversia en cuanto a la identificación de estructuras angulares mediante la OCT es el canal de Schlemm, que comentaremos en el apartado de discusión respecto a la malla trabecular.

En nuestro estudio, no existieron diferencias en cuanto a la identificación de estructuras en los sectores temporal y nasal, siendo muy ligeramente superior la visualización de algunas estructuras como la línea de Schwalbe, la malla trabecular-canal de Schlemm y el espolón escleral, en el sector temporal.

La concordancia en la identificación de las estructuras fue muy alta tanto intra como interobservador (0,93 y 0,88 respectivamente).

DISCUSIÓN

Así tras estudiar la reproducibilidad de la técnica, y la concordancia con la gonioscopia, a medida que los dispositivos de OCT presentaron una mayor resolución, diferentes grupos de trabajo centraron su interés en la identificación de las estructuras presentes en el ángulo camerular.

El grupo de Sakata y cols.¹⁵³ en un estudio realizado en 502 sujetos, estudió la detección del espolón escleral mediante OCT Visante. Se utilizó una escala ordinal para graduar la visibilidad del SS (grado 2: visibilidad clara, grado 1: visibilidad moderada, grado 0: no detectable). Consideraron que éste fue detectado en un 72% de los casos, siendo menos detectables en los cuadrantes verticales que en los horizontales. Grewal y cols.¹⁷⁸ identificaron el espolón escleral en el 88,33% de los ojos con la misma OCT que hemos empleado en nuestro estudio, y Cheung¹⁵¹ en un 85% siendo estos resultados muy similares al nuestro. Leung y cols.¹⁸⁴ demostraron que en el cuadrante inferior, a las 6 horas, existe la peor visualización del espolón, mientras que la mejor visualización se observó en el cuadrante nasal. En nuestra población no se estudiaron los cuadrantes verticales por su peor calidad de imagen, siendo la mejor visualización en el sector temporal y no en el nasal, siendo poco marcada esta diferencia.

En un artículo publicado por Wong y cols.^{156,190} tras estudiar las imágenes obtenidas en los cuadrantes horizontales con un prototipo de Cirrus HD modificado, consiguieron identificar el espolón escleral en el 78,9%, la línea de Schwalbe en el 93,3% y la malla trabecular en el 62,2% de los ojos. En nuestro estudio, la identificación de dichas estructuras fue posible en un 85%, 93% y 91% respectivamente. Las cifras de identificación del espolón escleral y la línea de Schwalbe son muy similares a las nuestras, siendo en nuestro estudio muy superior el porcentaje de identificación de la malla trabecular.

Con la aparición de los diferentes dispositivos de OCT de alta resolución, se empezó a identificar en un mayor porcentaje de los casos la línea de Schwalbe que el espolón escleral, como en el caso del estudio de Cheung y cols.¹⁵¹. En éste estudio, debido al mayor porcentaje de identificación de la línea de Schwalbe (95% frente a un 85% del espolón escleral) mediante OCT Cirrus HD, han propuesto establecer esa estructura como referencia para medir el ángulo, y medir desde ahí el AOD (distancia de abertura

angular) y el TISA (área iridotrabecular), lo que se conoce como SL-AOD (línea de Schwalbe AOD) y SL-TISA (línea de Schwalbe TISA). Se midió por tanto el AOD-SL que mostró una consistente fiabilidad intra e interobservador con un CCI de 0,979 y 0,988 respectivamente. Afirman que esto es útil en los cuadrantes horizontales, es decir, en temporal y en nasal. Por tanto concluyen que nuevos parámetros, como la línea de Schwalbe pueden ser útiles para predecir el riesgo de cierre angular. En un estudio similar Qin y cols.¹⁵² en el año 2.012 visualizaron la L.S en el 97,7% de los ojos, por lo que también se midió la distancia de abertura angular desde ese punto (AOD-SL).

En el estudio llevado a cabo por Perera y cols.¹⁹¹ en 2012, hicieron una interesante comparativa en la evaluación del ángulo mediante gonioscopia, OCT Visante y OCT Fourier Domain RTVue (el mismo OCT con el que hemos realizado nuestro trabajo). En dicho estudio, en cuanto a la identificación de las estructuras, el espolón escleral fue detectado con la OCT Optovue en el 27% de los casos, mientras que con la OCT Visante fue detectado en el 69%. Teniendo en cuenta todos los cuadrantes, la identificación de la malla trabecular con la OCT RTVue fue tan sólo de un 17,3% ($p=0,92$). Por tanto, afirman que aunque la OCT RTVue permite la visualización de la línea de Schwalbe, la malla trabecular y el espolón escleral, existe un gran porcentaje de los casos en los que la identificación de estas estructuras no es posible. En nuestra opinión, éste bajo porcentaje de estructuras identificadas que exponen en dicho estudio, se debe principalmente a incluir en los porcentajes las medidas de los cuadrantes superior e inferior, en los cuales la identificación, como hemos comprobado en nuestro trabajo con el mismo dispositivo, es muy inferior respecto a los cuadrantes horizontales. De hecho, en el mismo estudio, afirman que existe un mayor porcentaje de visualización de la malla trabecular y el resto de estructuras en los cuadrantes horizontales que en los verticales ($p<0,0001$).

En el estudio llevado a cabo por Quek y cols.¹⁹² se realizó una comparativa entre la gonioscopia, la OCT Cirrus y la OCT iVue. Se realizó con 69 ojos y tanto la OCT Cirrus como la iVue presentaban una buena reproducibilidad intraobservador. Respecto a la identificación de estructuras, con el Cirrus identificaron la línea de Schwalbe en un 77,2%, la M.T en un 34,4%, el canal de Schlemm en un 10,1%, y el espolón escleral en un 82,2%; con el iVue la identificación fue de 73,9% para la línea de Schwalbe, 67,8%

para la M.T, 13,4% para el canal de Schlemm y 66,3% para el espolón escleral. Por tanto, comparando ambos sistemas, identificaron de manera similar la línea de Schwalbe y el espolón escleral (aunque es algo superior su identificación mediante Cirrus OCT), sin embargo, la diferencia principal es en cuanto a la identificación de la M.T que se identifica en un mayor porcentaje con la iVue OCT ($p < 0,001$). Refieren que éstas diferencias pueden ser explicadas debido a la diferencias en la calidad y en el procesamiento de las imágenes de ambos sistemas. La identificación de las estructuras fue más difícil en los cuadrantes superior e inferior, hallazgos consistentes con nuestros resultados y con los principales grupos de trabajo mencionados, tales como el de Sakata^{153,154}, Perera¹⁹¹ y numerosos autores.

El conocimiento de la normalidad y la correcta identificación de las estructuras que conforman la anatomía angular puede ser muy útil para un mejor conocimiento tanto de los cambios fisiológicos que se producen en el ángulo (luz-oscuridad, acomodación, edad, etc) patológicos (inflamaciones, hiphema, restos de cristalino, glaucomas secundarios, congénitos, traumáticos, glaucoma neovascular, etc) y cambios postquirúrgicos (lentes de apoyo angular, cirugía convencional del glaucoma o la más novedosa cirugía angular mínimamente invasiva).

4. DISCUSIÓN RESPECTO A LA ABERTURA ANGULAR:

Los primeros estudios que se llevaron a cabo para valorar la abertura angular comparaban los hallazgos encontrados mediante OCT con la gonioscopia, por ser considerada la técnica de referencia en la evaluación de la abertura del ángulo cameralar.

Los resultados demostraron una buena correlación entre ambas técnicas, como en el trabajo llevado a cabo por Sakata y cols.¹⁵³ en el año 2008, en el que se realizó una comparativa entre OCT Visante y gonioscopia. Existieron diferencias sustanciales en algunos aspectos como que la OCT-SA tiende a clasificar un mayor porcentaje de los ángulos como cerrados que en la gonioscopia, especialmente en los cuadrantes verticales. En la gonioscopia se definió un ángulo como cerrado al observarse la

presencia de cualquier contacto entre el iris periférico y la pared del ángulo anterior al espolón escleral. Sakata¹⁵⁴ mostró que el Visante clasificaba un ángulo como cerrado en al menos un cuadrante en el 59% de los ojos, clasificándose tan sólo un 33% de los mismos como cerrados por gonioscopia. En el 71% de los casos que fueron clasificados como ángulos cerrados con OCT pero ángulos abiertos en gonioscopia, estos ángulos presentaban un contacto irido-angular corto. Por tanto, sugieren que las variaciones en el perfil iridiano y el grado de contacto irido-angular pueden explicar algunas de las diferencias observadas. Un hallazgo común en ambas exploraciones, tanto en la exploración gonioscópica como en la tomográfica, fue que el cuadrante más abierto era el inferior.

Perera y cols.¹⁹¹ también realizaron un estudio en cuanto a la concordancia de la OCT de ángulo frente a la gonioscopia. Cuando analizaban únicamente los cuadrantes nasal y temporal, existía una buena concordancia de las dos OCT utilizadas en su trabajo con la gonioscopia (la OCT Visante que presentaba una concordancia de 0,74, y la OCT RTVue en la que la concordancia fue de 0,75). Al intentar identificar los ángulos cerrados mediante gonioscopia (considerando cerrado cuando no se observaba la parte posterior de la malla trabecular) y comparándolo con OCT RTVue en los cuadrantes horizontales, el 37,7% de los ángulos se consideraron como cerrados con gonioscopia mientras que tan sólo un 19,3% de los mismos se consideró como cerrado con dicha OCT. Por tanto, la concordancia de la medida de los ángulos cerrados mediante el coeficiente kappa fue de 0,6 lo que representa una concordancia moderada en la identificación de ángulos cerrados entre la gonioscopia y la OCT RTVue. En dicho estudio no se especifica cuál fue el criterio utilizado para definir un ángulo como cerrado con dicha OCT.

Otros trabajos, como el de Cheung y cols.¹⁵¹ mostraron una concordancia muy similar ($r=0.69$), en cuanto a los resultados entre la OCT, en éste caso con el modelo Cirrus HD, y la gonioscopia. Este grupo analizó 73 ojos de 73 pacientes con glaucoma a los que se les realizó gonioscopia y OCT. La gonioscopia se clasificó utilizando la escala modificada de Shaffer (se consideró un ángulo como posible cierre angular si la M.T no era visible). La exploración con OCT se realizó en los cuadrantes nasal y temporal de cada ojo. Se

DISCUSIÓN

midió el AOD y se objetivó una fuerte correlación entre las medidas de AOD y la gonioscopia, siendo la correlación de $r = 0,709$.

En un estudio similar Qin y cols.¹⁵² en 2013 reclutaron también pacientes con glaucoma (en este caso 35 ojos) y también se les realizó gonioscopia y OCT, en este caso con el dispositivo RTVue. Se observaron coeficientes de variación intraobservador de 9,8 a 12% e interobservador de 10,1 a 13,3% para la medida del AOD. De manera similar a otros trabajos, también se apreció una fuerte correlación entre la medida del AOD mediante OCT y la gonioscopia siendo la correlación de 0,8 para el cuadrante nasal y de 0,81 para el cuadrante temporal.

En el estudio llevado a cabo por Quek y cols.¹⁹² se realizó una comparativa entre la gonioscopia, Cirrus OCT e iVue OCT en 69 ojos. En cuanto a la concordancia con gonioscopia fue moderada-baja, siendo de 0,35 para el Cirrus-OCT y 0,50 para el iVue OCT, valores claramente inferiores a los reportados por los anteriores autores. Concluyeron que es difícil determinar si un ángulo es cerrado con ambas OCT, debido a la baja concordancia con gonioscopia, y al porcentaje de pacientes en los que no se pudo identificar el espolón escleral con ambos dispositivos (17,8% y 33,7% para la OCT Cirrus y la iVue respectivamente).

Una de las limitaciones de la OCT es que las imágenes son tomadas en un único punto, pudiendo diferir estas medidas con la clasificación gonioscópica, ya que en la gonioscopia no se valora un punto en concreto, sino el cuadrante entero.

Tras observar que existía una buena correlación con la gonioscopia y que la medida de la abertura angular con la OCT era fiable y reproducible, empezaron a aparecer los primeros resultados.^{158,193}

En nuestro trabajo realizado con el dispositivo de OCT-SA RTVue, obtuvimos una abertura angular temporal media de $35,80 \pm 12,78$ grados.

Otros estudios como el de Wylegala y cols.¹⁵⁷, realizado con dos modelos diferentes de OCT, el RTVue, que es el mismo que hemos empleado en nuestro estudio, y el Visante obtuvieron una abertura angular temporal media de $35,3 \pm 8,5$ grados y $35,5 \pm 9$ grados respectivamente, siendo de $34,7 \pm 9,5$ grados y $35,2 \pm 8,9$ grados los resultados

obtenidos en el cuadrante nasal. Estas mediciones fueron realizadas en una población destacadamente inferior a la nuestra (54 ojos versus 2.012 ojos respectivamente). En el Beijing Eye Study¹⁹⁴ publicado en 2006, se realizó el estudio con el mayor número de pacientes que hemos encontrado en la literatura, ya que fue realizado con 2.985 sujetos. Sin embargo, éste fue realizado mediante el dispositivo Slit lamp que es una OCT con una resolución claramente inferior a la empleada en nuestro trabajo. Los resultados de la abertura angular media fueron de 38.3 ± 16.3 grados. Por tanto, ambos grupos de trabajo ofrecieron resultados muy similares a los nuestros en cuanto a la abertura angular medida con OCT (tabla 41).

Autor, año	N (ojos)	Características población	Abertura angular	OCT
Beijing Eye Study, 2006	2.985	sanos	38.3 ± 16.3	Slit Lamp OCT
Wylegala, 2009	54	sanos	$35,3 \pm 8,5$ $35,5 \pm 9$	RTVue Visante
Fdez-Vigo, 2013	2.012	sanos	$35,80 \pm 12,78$	RTVue

Tabla 41: Comparación de la abertura angular en grados en diferentes autores. Se incluyen el total de ojos estudiados.

En nuestro estudio no existieron diferencias ni estadísticamente significativas ni clínicamente relevantes entre la media global de los OD y OI, que fue de 35,78 y 35,80 grados respectivamente. Sin embargo más de la mitad de los pacientes (54,6%) tenían una diferencia mayor o igual del 10% entre su OD y su OI, y un 26,6% y un 14,5% de los pacientes presentaban una diferencia mayor o igual del 20% y del 30% respectivamente entre su OD y su OI. Así, aunque las medias globales entre OD y OI eran muy similares, intrapaciente sí que existían diferencias entre ambos ojos. En cuanto a la búsqueda del principal factor que determina esa diferencia dentro del mismo paciente entre su OD y su OI, descartamos la edad y el sexo por razones obvias. Observamos que existe muy poca diferencia en cuanto a la medida de la profundidad de la CA y de la longitud axial entre ambos ojos intrapaciente. Sin embargo, el 65,8%

DISCUSIÓN

de los pacientes tienen una diferencia mayor o igual del 10% en cuanto al defecto refractivo esférico entre su OD y su OI, y el 49,9% y el 39,7% presentan diferencias iguales o mayores del 20 y del 30% respectivamente entre los dos ojos de un mismo paciente. Así, parece evidente que el defecto refractivo esférico, condiciona en gran medida la abertura angular.

En nuestros resultados existió una mejor correlación entre el sector temporal de los ojos derechos y los ojos izquierdos, que entre el sector nasal y temporal del mismo ojo.

En nuestros resultados, las mujeres presentaron un ángulo de 34,11 grados mientras que en los hombres fue de 38,60 grados, por lo que en mujeres el ángulo fue 4,49 grados de media más estrecho (IC 95% 3,35 a 5,64 $p < 0,0001$). Se realizó un análisis de ANOVA, y un modelo de regresión multivariable para confirmar que esto no estuviera influido por diferentes factores de confusión, confirmándose que una vez ajustado e sexo por la edad y el defecto refractivo esférico, la diferencia era de 4,61 grados, muy similar a la encontrada previamente a realizar el ajuste.

En el Beijing Eye Study¹⁹⁴ se encontró que el sexo femenino se relacionó con una cámara anterior poco profunda y una menor abertura angular ($p < 0,001$).

Amerasinghe¹⁹⁵ y cols. estudiaron mediante OCT Visante 291 ojos derechos concluyendo también que la abertura angular era menor en mujeres que en hombres.

Numerosos trabajos en la literatura científica afirman que las mujeres tienen una mayor tasa de cierre angular que los hombres^{196,197,198,199}, información concordante con los resultados de nuestro estudio, en el que se encuentra que las mujeres tienen un ángulo más estrecho que los hombres.

Con respecto a la edad, la correlación general con la abertura angular fue de $r = -0,487$. En nuestros resultados la abertura angular disminuyó a medida que avanzaba la edad de la población general estudiada, siendo en los menores de 20 años de 50,84 grados de media para descender hasta los 30,15 grados de media en el rango de los 56-60 años, momento en el cual se observó una estabilización. Se observó una correlación fuerte entre la abertura angular y la edad en menores de 60 años ($r = -0,496$), siendo ligeramente superior en hombres que en mujeres ($r = -0,509$ vs $-0,479$). Mediante una

regresión hemos calculado además que el ángulo se estrecha 0,579 grados por cada año que envejecemos hasta los 60 años.²⁰⁰

Si diferenciamos por sexo, en los hombres se estabilizó en el rango entre los 56-60 años, aumentando ligeramente a partir de ese punto ($r=0,135$). En las mujeres la abertura angular se estabiliza algo más tarde, en torno a los 61-65 años. En nuestros resultados, en las mujeres a partir de los 71-75 años se produce un nuevo descenso, en éste caso menos acusado. Estos resultados al observarse en las edades más extremas de nuestra población y tener por tanto un número de pacientes notablemente inferior con respecto a otros rangos, requiere de posteriores estudios con más pacientes en dicho rango de edad para verificar esta asunción.

En el Beijing Eye Study¹⁹⁴ se observó que la edad avanzada se relacionaba con una cámara anterior poco profunda y una menor abertura angular (siendo la $p<0,001$).

Por su parte Sun y cols.²⁰¹ en el 2012, analizaron un total de 388 sujetos coreanos (con un rango de edad de 30 a 89 años) para estudiar la relación entre la abertura angular y la profundidad de la cámara anterior con la edad mediante OCT-SA. Los resultados fueron que la profundidad de la cámara anterior y el volumen de la cámara anterior disminuyen con la edad, con una tasa de progresión de -0.0119 mm/año y -0.0845 mm³/año respectivamente ($p<0,0001$). Además, el AOD₅₀₀ también disminuyó a medida que aumentaba la edad. Por tanto concluyen que al disminuirse las dimensiones de la cámara anterior con la edad, se debe considerar un factor de riesgo para el glaucoma primario de ángulo cerrado. Estos resultados son congruentes con los obtenidos en nuestro estudio, ya que la correlación entre la profundidad de la CA con la edad es de $r= -0,528$, y la correlación del volumen de la cámara anterior con la edad es de $r= -0,576$ (ambas $p<0,0001$). Además, la correlación entre el AOD₅₀₀ y la edad fue de $r= -0,462$. Estas correlaciones negativas, indican que a medida que aumenta la edad, disminuyen el resto de parámetros (volumen y profundidad de la CA, y AOD₅₀₀).

En relación al defecto refractivo esférico, hemos encontrado una correlación general fuerte con la abertura angular siendo $r= -0,619$.

DISCUSIÓN

La abertura angular permaneció estable en nuestra población entre los grandes miopes hasta las -3 dioptrías, siendo la abertura angular en ese rango en torno a los 46 grados. A partir de las -3 dioptrías hacia la hipermetropía, la abertura angular fue disminuyendo con una tasa de -2,67 grados por cada aumento de una dioptría, llegando a tener una abertura angular media de 20,31 grados en el rango de +7 a +9 dioptrías. En el rango de más de +9 dioptrías el número de ojos fue muy reducido (n=5) por lo que no se pueden extrapolar resultados significativos. En el Beijing Eye Study¹⁹⁴ también se asoció la hipermetropía con una menor abertura angular.²⁰²

No existió correlación entre el rango de -9 a -3 dioptrías ($r = -0,034$), sin embargo la correlación fue fuerte en el rango de -3 a -9 dioptrías ($r = 0,527$).

Clásicamente se ha debatido acerca de la relación entre la abertura angular y la PIO.²⁰³ En nuestros resultados (n=2.012 ojos), no se observó correlación ($r = -0,036$ para el total de ojos, con $p = 0,119$ por lo que los resultados no son estadísticamente significativos). Ya que no existía correlación, hemos analizado además la relación entre la PIO y la abertura angular sólo en ángulos estrechos, considerando como tales aquellos ángulos con una abertura igual o inferior a 20 grados (n=233 ojos) apreciándose una correlación algo superior, pero siendo aún así una correlación claramente débil ($r = -0,141$, $p < 0,05$). Amerasinghe¹⁹⁵ tampoco encontró correlación entre la abertura angular y la PIO. Con respecto a la correlación entre la presión intraocular y la abertura angular, el grupo de Chong y cols.²⁰⁴ en 2013 publicó un trabajo interesante sobre la medida de la PIO con tonometría Goldman, y la abertura angular medida con OCT Visante y con gonioscopia. Éste trabajo fue realizado sobre 2045 sujetos de raza china, con una edad media de 63 años. Afirmaron que existe una asociación entre la extensión del cierre angular, ya sea medido con OCT o con gonioscopia, y el aumento de la PIO. La PIO media en ángulos normales, con ningún cuadrante con cierre angular en gonioscopia fue de $14,6 \pm 0,2$; si existía un cuadrante con cierre angular fue de $14,7 \pm 0,3$; si existían dos cuadrantes cerrados $15 \pm 0,3$, y si los 4 cuadrantes estaban cerrados $15,6 \pm 0,3$. En cuanto a las PIO medias si el cierre angular fue medido con OCT, los resultados fueron de $14,7 \pm 0,2$ en sujetos con ningún cuadrante con cierre angular, $15 \pm 0,2$, $14,8 \pm 0,2$, $15,1 \pm 0,3$ y $16 \pm 0,3$ mmHg si un cuadrante, dos, tres o los cuatro presentaban un cierre angular respectivamente.

Aunque los resultados son estadísticamente significativos, apenas existe un aumento de 1 mmHg de PIO entre los ángulos que no presentan un cierre angular en ninguno de sus cuadrantes con respecto a los que presentan un cierre angular en los cuatro cuadrantes, por lo que las diferencias son clínicamente poco relevantes.

Con respecto a la relación entre la abertura angular y las dimensiones de la CA, se observó una correlación fuerte con respecto al volumen de la CA ($r=0,84$) y con la profundidad de la CA ($r=0,811$ y $0,809$ medida con Pentacam e IOL Master respectivamente) por lo que a mayor profundidad de CA mayor es la abertura angular^{205,206}, siendo la correlación débil con el diámetro de la CA o distancia blanco-blanco ($r=0,239$). Calculamos además que por cada aumento de 100 micras de la profundidad de la CA aumentaba 1,9 grados la abertura angular. Amerasinghe y cols. afirman que la abertura angular era menor en ojos con una menor profundidad de la cámara anterior.^{207,208}

En nuestro trabajo con respecto a la relación entre la abertura angular y la longitud axial, se observó una correlación fuerte ($r=0,592$) entre ambos parámetros. En cuanto al grosor del iris, se apreció una correlación muy débil con la abertura angular ($r=0,139$).

En el estudio publicado por Liu S y cols.¹⁸⁵ concluyen que las medidas del ángulo pueden verse influidas por el grosor del iris y la longitud axial del globo ocular.²⁰⁹ Amerasinghe¹⁹⁵ también concluye que la abertura angular era menor en ojos con una longitud axial del globo ocular más corta. En nuestros resultados, la medida de la abertura angular sí que tiene correlación con la longitud axial pero no con el grosor del iris. Las principales publicaciones al respecto a la relación entre el grosor del iris y la abertura angular^{210,211} han sido realizadas con BMU y ofrecen unas informaciones contradictorias. Trabajos como el de Sihota y cols.¹⁹⁷ afirman que los ojos con glaucoma primario de ángulo abierto presentan iris más finos, sin embargo, Ramani y cols.¹⁹⁶ no encuentran diferencias significativas en cuanto al grosor del iris en sujetos normales y en sospechosos de cierre angular primario.

DISCUSIÓN

Diferentes trabajos han valorado las modificaciones de la abertura angular según si se midieron en condiciones de luz u oscuridad, sugiriendo que en condiciones de oscuridad o midriasis, y debido al engrosamiento de la raíz del iris el ángulo se estrecha.^{212,213,214,215,216,217} En nuestro estudio las imágenes se captaron en condiciones de luz estándar tal y como se describe en el apartado correspondiente de material y métodos, y al contrario que en otros trabajos la correlación entre la abertura angular y la medida del diámetro pupilar fue positiva (por lo que a mayor diámetro pupilar correspondería una mayor abertura angular) pero muy débil ($r = 0,182$ si fue medido con Pentacam, y $r = 0,195$ con IOL Master $p < 0,0001$). Sin embargo no consideramos muy fiables las medidas del diámetro pupilar con estos dispositivos ya que además como hemos visto presentan una concordancia muy baja.

Hemos estudiado además la asociación entre la abertura angular y el grosor corneal o paquimetría central no observándose correlación ($r = -0,078$). En el Beijing Eye Study¹⁹⁴ se encontró que una paquimetría gruesa se relacionaba con una cámara anterior poco profunda y una menor abertura angular. Amerasinghe y cols.¹⁹⁵ por su parte no encontraron correlación entre la abertura angular y la paquimetría central.

En nuestros resultados las correlaciones en cuanto a la abertura angular ofrecidas para el total de ojos estudiados (incluyendo ojos derechos y ojos izquierdos) fueron muy similares a las obtenidas individualmente para sólo los ojos derechos o sólo los ojos izquierdos, encontrándose diferencias insignificantes, como se puede apreciar en las tablas expuestas en el anexo I.

Otros grupos de trabajo han intentado correlacionar la abertura angular con diferentes variables a las estudiadas en nuestro trabajo. Así en el Beijing Eye Study se encontró que la catarata nuclear y la baja estatura de los pacientes se relacionaron con una menor abertura angular. Sin embargo la DMAE y la retinopatía diabética no mostraron ninguna correlación con la abertura angular.^{194,218}

Nuestro estudio se llevó a cabo únicamente con sujetos caucásicos. Sin embargo, otros grupos como el de Leung y cols.²¹⁹ realizaron un estudio para comparar diferentes parámetros del segmento anterior entre ojos de chinos y de caucásicos mediante OCT. El estudio se realizó en 60 chinos y en 60 caucásicos de los cuales la mitad presentaban

un ángulo abierto, y la mitad un ángulo estrecho. Los chinos presentaron una profundidad de C.A media y una distancia blanco-blanco o diámetro de la C.A menor que los caucásicos en ambos grupos, tanto en el grupo de sujetos con ángulo abierto como en el de ángulo estrecho, siendo estas diferencias estadísticamente significativas. No se encontraron diferencias entre ambos grupos en cuanto a los parámetros relacionados con la abertura angular, siendo estas diferencias no estadísticamente significativas. Se debe tener en cuenta que este estudio fue realizado con 60 ojos en total, por lo que se requieren estudios con un mayor número de casos estudiados para confirmar esos resultados.

En el estudio llevado a cabo por Amerasinghe y cols.¹⁹⁵ en 291 ojos en una población de malayos sanos de Singapur con la OCT Visante. La abertura angular, el AOD y el TISA no presentaron correlación con la ni con el índice de masa corporal, la HbA1c, la tensión arterial sistólica ni con el cociente copa disco del nervio óptico.

En éste trabajo, se intentó hacer un modelo de regresión lineal multivariable similar al realizado en nuestro estudio. Se incluyeron en el modelo la profundidad de la CA y la longitud axial, siendo la $r^2=0,33$, es decir, éstos dos parámetros explican el 33% de la variabilidad final del ángulo en éste trabajo. Sugieren que otros parámetros oculares y sistémicos deben estar involucrados en la determinación de la variabilidad final del ángulo.

En nuestro estudio hemos realizado un modelo incluyendo la edad, el sexo, el defecto refractivo esférico, la profundidad de la cámara anterior y la longitud axial. Como expusimos en nuestros resultados, la longitud axial fue eliminada del modelo por el propio programa, muy probablemente porque presentaba una gran correlación con el defecto refractivo esférico (correlación defecto refractivo esférico y longitud axial es de -0,797). Excluyendo por tanto éste parámetro, y manteniendo las otras 4 variables en el modelo (edad, sexo, defecto refractivo esférico y profundidad de la cámara anterior), la r^2 fue de 0,684, es decir, estos cuatro parámetros explicaban el 68,4% de la variabilidad final de la abertura angular.

En cuanto al análisis por factores individuales, el sexo tan sólo explica un 2,92% de la variabilidad final del ángulo. Sin embargo, la edad y el defecto refractivo esférico son

DISCUSIÓN

los principales determinantes, siendo muy similares entre ellos, determinando un 24,6 y un 25,6% de la variabilidad final de la abertura angular.

En el trabajo realizado por Foo y cols.²²⁰ realizaron un modelo en el que incluyeron 6 variables: el volumen y profundidad de la cámara anterior, la abertura angular, el volumen del cristalino, y el grosor y el área del iris, y estos factores explicaban un 81 y un 85% de la variabilidad final del TISA₇₅₀ y del AOD₇₅₀ respectivamente (es decir, medidos a 750 micras del espolón escleral).

Por tanto, podemos conocer cómo influyen diferentes parámetros en la abertura angular, lo que nos podría permitir un mejor conocimiento de los factores que influyen en el glaucoma primario de ángulo estrecho.

Además de la medición del ángulo con la OCT, hemos medido la abertura angular con el Pentacam en los sectores nasal y temporal de ambos ojos, siendo casi idéntica la media en ambos ($36,28 \pm 7,37$ vs $36,29 \pm 8,09$).

En el trabajo de Ahmadi y cols.²²¹ se valoró también la abertura angular mediante Pentacam en 120 ojos de 60 sujetos. La población estaba formada por indios, todos ellos menores de 40 años y con una edad media muy joven, de 25,93 años. La abertura angular media fue de $39,36 \pm 5,42$ grados, muy similar a la publicada por Alonso y cols.²²² en 74 ojos de pacientes brasileños sanos con una edad media de 51 años, en los que la media de la abertura angular fue de $39,20 \pm 5,31$ grados. La edad media del grupo de Ahmadi fue considerablemente inferior a la de nuestro grupo (25,93 años versus 49,09 años respectivamente), lo que podría explicar parcialmente las diferencias ya que como hemos visto, a medida que aumenta la edad, se estrecha la abertura angular. Sin embargo en el grupo de Alonso la edad media (51 años) fue muy similar a la nuestra y se mantuvieron esas diferencias. Sin embargo, nuestros valores están avalados por un número de ojos estudiados notablemente superior (ver tabla).

Un trabajo interesante fue el realizado por Pakravan y cols.²²³ en el año 2012 en sujetos iraníes, en el que pretendían determinar los valores de riesgo de cierre angular según diferentes mediciones realizadas con el Pentacam. Su población estaba constituida por dos grupos de pacientes, 18 ojos normales y 20 ojos sospechosos de

cierre angular. En los normales las medias de la abertura angular, del volumen y de la profundidad de la CA fueron de $35,8 \pm 6,9$ grados, 176 ± 44 micras y $3,13 \pm 0,59$ mm. Frente a estos, nuestros resultados fueron de $36,28 \pm 7,37$, 167 ± 47 y $3,35 \pm 0,43$, en una población mucho mayor, 18 ojos frente a 2.012 ojos. Los valores en nuestra población de volumen de C.A fueron algo inferiores, siendo sin embargo superiores en la medida de la profundidad de la C.A. Los resultados en este trabajo en el grupo de sospechosos de cierre angular fueron de $22,6 \pm 6,3$ grados de abertura angular, 77 ± 18 mm³ de volumen de C.A y $1,93 \pm 0,23$ mm de profundidad de C.A, mientras que el estudio de Alonso éstos valores fueron de $21,18 \pm 7,98$ grados, 90 ± 25 mm³ y $1,55 \pm 0,64$ mm, valores muy inferiores a los mostrados en la población normal (tabla 42).

Así, en el estudio de Pakravan determinaron mediante curvas ROC los valores para clasificar a un sujeto de riesgo de cierre angular e indicar una iridotomía profiláctica.^{223, 224, 225} Estos valores fueron una abertura angular menor o igual de 26 grados, un volumen de la C.A menor o igual de 100 mm³, y una profundidad de la C.A menor de 2.1 mm. Unos meses más tarde de ese mismo año, el grupo de Rossi y cols.²²⁶ realizaron un trabajo muy similar, siendo en este caso en una población caucásica. Los valores de corte que propuso este grupo fueron similares pero más estrictos, siendo 22,4 grados para la abertura angular, 84 mm³ para el volumen de la CA y 1,93 mm en la profundidad de la C.A. Alonso y cols. fueron aún más rigurosos basándose en sus resultados, determinando como ángulos de riesgo aquellos con una abertura angular inferior a 20 grados.

En nuestro trabajo se tomó como referencia un volumen de cámara anterior medido con Pentacam® de menos de 100 mm³ para clasificar un ángulo como potencialmente ocluable mediante medidas realizadas con OCT. Se calculó el mejor área bajo la curva (empleando curvas ROC) y se determinaron los puntos de corte con mejor balance de sensibilidad y especificidad para la abertura angular en grados y la distancia de abertura angular (AOD) medidos con OCT. Del total de ojos estudiados (2.012), 190 (9,4%) presentaban un volumen de cámara anterior menor de 100 mm³ siendo la media en este grupo de $86,23 \pm 9,18$ mm³ (rango 51 a 99). El área bajo la curva para el AOD fue de 0,902 siendo el punto de corte con una mejor rentabilidad diagnóstica 316 micras, con una sensibilidad y una especificidad de un 83 y un 82,9% respectivamente.

DISCUSIÓN

En cuanto a la abertura angular el área bajo la curva fue de 0,920, siendo el mejor punto de corte 26,4 grados, con una sensibilidad y una especificidad de 91 y 82,3% respectivamente.

Kurita y cols.²²⁷ realizaron un estudio en 72 ojos mediante gonioscopia, BMU y Pentacam en los sectores horizontales para determinar los sujetos sospechosos de cierre angular, determinando la abertura angular, el volumen y la profundidad de la C.A. Frente a la gonioscopia la BMU presentó una correlación excelente ($r=0,9$ $p<0,0001$) mientras que la correlación entre la gonioscopia y el Pentacam fue moderada ($r=0,65$ $p<0,0001$), siendo menos fiables las medidas del Pentacam en los ángulos clasificados como estrechos mediante gonioscopia. De entre los parámetros medidos con el Pentacam, el que mostró una mayor sensibilidad y especificidad en la determinación de los sospechosos de cierre angular fue una profundidad de la C.A inferior a 2,58 mm. Aunque la reproducibilidad de la medida de la abertura angular fue alta (CCI= 0,910), se observó que era menor que en la medida de la profundidad o el volumen de la C.A. (CCI=0,991 y 0,986 respectivamente).

Autor, año	N (ojos)	Caract. población	Abertura angular (grados)	Prof. C.A (mm)	Volumen C.A (mm ²)
Alonso, 2010	74	sanos	39,2 ±5,31	3,09 ±0,42	193 ±36
Pakravan, 2012	18	sanos	35,8 ±6,9	3,13 ±0,59	176 ±44
Ahmadi, 2013	120	sanos	39,36 ±5,42	3,14 ±0,33	177 ±29
Fdez-Vigo, 2013	2.012	sanos	36,28 ± 7,37	3,35 ±0,43	167 ±47

Tabla 42: Resultados de la abertura angular, profundidad y volumen de la cámara anterior medidos con Pentacam en diferentes autores. Se incluyen el total de ojos estudiados.

En las medidas realizadas mediante Pentacam, llama la atención la diferencia de la amplitud de rangos existente entre los temporal y nasal. El rango en el cuadrante temporal fue de 4,10 a 74,20 grados, por lo que su amplitud del rango fue de 70,10 grados. Por contra, en el caso de la abertura angular nasal el rango fue de 14,2 a 64, siendo por tanto la amplitud del rango de 49,8 grados. Parece por tanto, que el Pentacam, es capaz de medir en el cuadrante temporal ángulos con valores más extremos que en el sector nasal. En nuestro estudio de reproducibilidad mediante OCT (n=100 ojos), el rango y la amplitud de este fue muy similar en los cuadrantes temporal y nasal, siendo de 10,44 a 66,14 y 13,45 a 66,87 respectivamente.

En cuanto a la concordancia existente entre la medida de la abertura angular entre la OCT y el Pentacam, en nuestros resultados las medidas fueron similares $35,80 \pm 12,78$ grados versus $36,28 \pm 7,37$ grados respectivamente en el sector temporal, siendo ligeramente superiores los valores de la desviación estándar en la OCT. La concordancia entre ambos dispositivos en nuestro estudio ha sido baja tanto en el coeficiente de correlación intraclase que fue de 0,397, como en la correlación de Pearson ($r=0,458$ en temporal) como en el análisis de Bland Altman, en el que cabe destacar que el Pentacam sobreestimaba la medida de la abertura angular en ángulos estrechos, e infraestima la medida en ángulos abiertos con respecto a la OCT. Esto ocurre porque el Pentacam presenta la incapacidad de medir y localizar correctamente la parte más periférica del iris y el receso del ángulo en ángulos muy estrechos, y tiende a medir hacia los valores centrales, y muy raramente detecta y clasifica un ángulo como muy abierto o muy cerrado sin que se produzcan artefactos en la medida, siendo esto más acusado como acabamos de ver en el sector nasal. Esta misma conclusión que extraemos de nuestros resultados es resaltada también por Kurita y cols.²²⁷ en su trabajo. Por tanto, no son métodos intercambiables en la medida de la abertura angular.

Grewal y cols.¹⁷⁸ realizaron un estudio comparativo entre el Pentacam y la OCT RTVue, los mismos dispositivos que hemos utilizado en nuestro trabajo, en 265 ojos para la detección de ángulos estrechos. La exploración tomográfica que realizaron fue similar a la nuestra ya que sólo midieron los sectores horizontales, temporal y nasal, y utilizaron la misma lente, la CAM-L. Los parámetros utilizados y comparados fueron la

DISCUSIÓN

profundidad y el volumen de la C.A medidos con el Pentacam, y el AOD y TISA 500 medidos con la OCT RTVue. No midieron por tanto, la abertura angular mediante el Pentacam ya que refieren que como advirtió Kurita, sus medidas son poco fiables. Existió una correlación moderada entre las medidas de la OCT y del Pentacam. La correlación entre el volumen de la CA y el AOD₅₀₀ fue de 0,517, mientras que con el TISA₅₀₀ fue de 0,160. En nuestro trabajo, estas correlaciones fueron notablemente más fuertes siendo de 0,820 y 0,775 respectivamente, por lo que consideramos que la correlación en estos parámetros no es moderada sino excelente. La principal conclusión de éste trabajo es que el volumen de la CA es el parámetro que mejor detecta los cierres angulares clasificados como tal con gonioscopia, superando al AOD y TISA₅₀₀ en la detección de los ángulos estrechos. Afirman que esto podría ser debido a que el Pentacam captura 50 imágenes de la C.A mientras que la OCT analiza una sola imagen en cada cuadrante horizontal. En nuestra opinión, el volumen de la C.A medido con Pentacam es un muy buen indicador de la abertura angular, ya que en nuestros resultados de todos los parámetros estudiados es el que presenta la correlación más fuerte con la abertura angular medida con OCT, siendo de 0,84. Pero independientemente de que consideremos el volumen de la C.A como un muy buen indicador, también pensamos que lo es el AOD₅₀₀ ya que presenta unas correlaciones muy altas tanto con la abertura angular como con el propio volumen de la C.A (0,92 y 0,82 respectivamente).

Con respecto a la lateralidad no existieron diferencias clínicamente significativas en la abertura angular medida con Pentacam entre los OD y los OI, ya fuera en los sectores nasal o temporal, siendo la media en torno a los 36 grados. El grupo de Ahmadi y cols. tampoco encontró diferencias entre ambos ojos.

Con Pentacam, la media de la abertura angular también fue menor en hombres que en mujeres, siendo en éste caso la diferencia de 1,80 grados, claramente inferior que la detectada mediante OCT (que era de 4,49 grados). Ahmadi²²¹ afirma por el contrario que no encontraron diferencias en cuanto al sexo.

Existió una mayor correlación entre la abertura angular nasal y la edad, que en el caso de la abertura angular temporal ($r = -0,269$ vs $-0,533$ $p < 0,0001$), resultado al que no

hemos encontrado ninguna explicación plausible. En un trabajo realizado por Koc y cols.²²⁸ estudiaron 110 sujetos sanos mediante Pentacam para valorar si existían diferencias en la abertura angular en diferentes grupos de edad. Se observó que no existían diferencias entre la media de los ojos derechos y los ojos izquierdos. Se observó que la abertura angular era menor en los pacientes clasificados en el grupo de mayores de 40 años, que en los menores de dicha edad.

Lo mismo ocurre con el caso del defecto refractivo esférico ($r = -0,385$ vs $-0,501$). Así, en el modelo de regresión lineal multivariable los 3 parámetros principalmente estudiados (sexo, edad y defecto refractivo esférico) explicaban un 36,7% de la variabilidad final de la abertura angular nasal, explicando tan sólo un 14,5% de la abertura angular temporal.

Una desventaja del Pentacam es que al utilizar luz visible se podría modificar la configuración del ángulo al capturar las imágenes.¹⁷⁸

En cuanto a otros parámetros estudiados y recogidos en el estudio, la profundidad de la CA como hemos visto, es un importante determinante de la variabilidad final de la abertura angular, y fue medida con dos dispositivos diferentes, el Pentacam y el IOL Master.²²⁹ Tanto el CCI, como la correlación de Pearson, como el análisis de Bland Altman mostraron una concordancia excelente entre ambos dispositivos en la medida de la profundidad de la cámara anterior, siendo prácticamente equivalentes e intercambiables sus medidas.

En nuestros resultados la profundidad de la C.A medida con Pentacam fue $3,35 \pm 0,43$ mm (2,07 a 4,64) mientras que con IOL Master fue $3,31 \pm 0,42$ mm (2,11 a 4,51).

Dinc y cols. en 80 ojos de 40 sujetos sanos obtuvieron una media de profundidad de CA medida con IOL Master de $3,33 \pm 0,42$ mm, resultado muy similar al obtenido en nuestro grupo.^{230,231,232}

Sin embargo, no ocurre lo mismo en cuanto a la concordancia de estos dos dispositivos en la medida del diámetro pupilar, presentando una concordancia muy baja, y no siendo sus medidas intercambiables.

DISCUSIÓN

En nuestros resultados el diámetro pupilar medido con Pentacam fue $2,96 \pm 0,62$ mm (1,71 a 5,51) mientras que con IOL Master fue $4,24 \pm 1$ mm (1,70 a 9,10).

En un estudio realizado por Yazici y cols.²³³ en 100 ojos de 50 pacientes sanos la media del diámetro pupilar fue de $3,05 \pm 0,59$ mm, resultado similar al obtenido en nuestro estudio. Por el contrario en el estudio de Meinhardt y cols.¹¹⁸ en 50 ojos de 27 pacientes sanos con edades comprendidas entre los 19 y los 59 años, se midió la profundidad de la C.A con IOL-Master siendo la media de 3,63 mm (rango de 2,88 a 4,22), obteniéndose una media de 3,91 mm en el Pentacam (rango 2,99 a 4.61). Estos valores medios son superiores a nuestros resultados, y pueden ser debidos a que la población estudiada es más joven que la nuestra, ya que como hemos visto la profundidad de la C.A se reduce con la edad, y además tienen una población destacadamente inferior con respecto a la nuestra.

Cabe destacar con respecto al estudio de otros parámetros, que no hemos encontrado correlación entre el volumen de la C.A ni con la PIO ($r = -0,033$) ni con la paquimetría ($r = -0,065$), resultados coincidentes con los aportados por Grewal.¹⁷⁸

5. DISCUSIÓN RESPECTO A LA MALLA TRABECULAR:

Pocos autores se han centrado por el momento en la descripción del ángulo definiendo sus signos tomográficos más relevantes, para poder determinar así el patrón de normalidad, y para identificar las estructuras presentes en el mismo. Los primeros trabajos que identificaban estructuras se centraban en el espolón escleral y en la línea de Schwalbe, pero no ofrecían datos acerca de la malla trabecular, a pesar de ser la estructura más importante del ángulo iridocorneal. Éste hecho, está muy relacionado con la pobre calidad en detalles que ofrecían las primeras imágenes que se obtenían con OCT para el segmento anterior. Con la reciente aparición de la OCT de segmento anterior de alta resolución, comienzan a aparecer trabajos que analizan en detalle el ángulo y sus estructuras tales como la malla trabecular.

En nuestro trabajo con la OCT-SA RTVue no sólo hemos identificado la malla trabecular, sino que además hemos realizado diferentes mediciones sobre la misma. La

longitud media de la MT fue de $504,91 \pm 103,21$ micras (rango de 263 a 904), siendo el grosor medio de $170,41 \pm 29,29$ micras para el total de ojos (rango 18 a 276), cumpliendo ambos una distribución de normalidad.

Como hemos visto en la introducción, en los tratados clásicos de histología se describe que la malla mide aproximadamente 600 micras de longitud y 110-130 micras de grosor, siendo éstos resultados extraídos de ojos de cadáver.

En nuestros resultados acerca de la longitud de la M.T, se encontró que en los OD medía 17 micras más de media que en los OI, lo que suponía una diferencia de un 3%. Aunque ésta diferencia fue estadísticamente significativa, no tiene trascendencia clínica ya que en la práctica es muy similar que la media de la longitud de la M.T en OD sea de $514,40 \pm 112,03$ micras, y en OI sea de $496,99 \pm 92,77$ micras.

Por el contrario, en la medida del grosor de la malla trabecular, los OI presentaron 7 micras de media más en cuanto al grosor trabecular que los OD, lo que supone un 4% de diferencia. (OD: $167,08 \pm 29,64$ micras y OI: $174,16 \pm 28,14$ micras).

Al contrario que en el caso de la longitud y el grosor de la malla trabecular, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la media de ambos ojos en cuanto al área de la malla trabecular.

Las diferencias encontradas en cuanto a la longitud y grosor de la M.T ofrecen poca relevancia clínica, y parecen hallazgos meramente estadísticos.

En el estudio intrapaciente sí que se observaron diferencias entre los ojos derechos e izquierdos, ya que en un 64,2% de los pacientes se observó una diferencia mayor o igual del 10% en la longitud de la MT entre su OD y su OI. En el 38,2% y en el 19,1% de los pacientes se encontró una diferencia mayor o igual del 20% y mayor o igual del 30% respectivamente, en cuanto a la longitud de la MT entre su OD y su OI. De la misma manera en cuanto al grosor de la M.T en el 60,9% de los pacientes se observó una diferencia mayor o igual del 10% en la longitud de la MT entre su OD y su OI. En el 29,4% y en el 13,1% de los pacientes se encontró una diferencia mayor o igual del 20% y mayor o igual del 30% respectivamente, en cuanto a la longitud de la MT entre su OD y su OI. Por último, cifras notablemente superiores se obtuvieron en el caso del área

DISCUSIÓN

de la M.T ya que en el 75,4% de los pacientes se observó una diferencia mayor o igual del 10% en la longitud de la MT entre su OD y su OI. En el 52,6% y en el 33,8% de los pacientes se encontró una diferencia mayor o igual del 20% y mayor o igual del 30% respectivamente, en cuanto al área de la MT entre su OD y su OI.

En cuanto a la relación entre las medidas de la malla trabecular con el sexo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas con respecto a la longitud y el área de la M.T entre los hombres y las mujeres. Sí que se encontró una diferencia estadísticamente significativa en el grosor medio de la M.T que fue 2,91 micras mayor en los hombres que en las mujeres, diferencia que no es clínicamente relevante y que probablemente pueda ser explicada por el azar.

Con respecto al estudio de correlaciones sólo se encontró que las medidas de la malla trabecular estaban relacionadas entre sí, siendo débil la correlación entre la longitud y el grosor, y siendo más fuerte la correlación entre la longitud y el área de malla. No se encontró correlación entre las medidas de la malla trabecular (ni en cuanto a su longitud, grosor y área) con ninguno de los parámetros estudiados entre los que cabe destacar, la edad, la PIO, el defecto refractivo esférico, la profundidad y volumen de la CA, la abertura angular y los parámetros angulares (AOD, TISA), o la paquimetría. Esto podría sugerir que la malla trabecular es una estructura independiente del resto de factores citados.

En nuestro trabajo se ofrecen las correlaciones entre la malla trabecular para el total de ojos estudiados (incluyendo ojos derechos y ojos izquierdos) y también para las obtenidas individualmente en los ojos derechos únicamente o sólo en los ojos izquierdos. Los resultados fueron muy similares, sin encontrar diferencias significativas para ninguno de los parámetros estudiados, como se puede apreciar en las tablas expuestas en el anexo I.

Uno de los primeros estudios publicados que se centra en el análisis de la M.T mediante OCT fue el de Tun y cols.¹⁸² en 2013 realizado con un dispositivo Swept Source. El estudio fue realizado en 148 individuos sanos de raza china, en los que el 62,4% eran mujeres. La principal limitación de éste trabajo es que delimitan indirectamente la M.T, localizándola en el espacio que queda entre el espolón escleral

(que lo identifican en el 99,7%) y la línea de Schwalbe (que la identifican en un 98,8%). Por tanto, al no identificar directamente la estructura, no realizan medidas ni del grosor ni del área de la MT, al contrario que en nuestro estudio en el que realizamos medidas no sólo de la longitud, sino también del grosor y del área de la M.T por permitirnos el dispositivo RTVue una visualización directa de la M.T. En el estudio de Tun y cols. se realizan las medidas en los 4 cuadrantes, a diferencia de nuestro trabajo en el que sólo medimos la malla en los cuadrantes horizontales. Afirman que la visualización e identificación de estructuras fue ligeramente superior en los cuadrantes horizontales que en los verticales, para los que además tuvieron que manipular los párpados en la captura de imágenes, aspecto que como hemos visto, puede alterar las mediciones. En sus resultados la longitud media de la M.T fue de 779 ± 98 (rango 554-1054). No existiendo diferencias en cuanto a la longitud media de los cuadrantes horizontales, nasal y temporal. Sin embargo sí que encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la longitud media de la M.T en los sectores verticales, siendo mayor en el cuadrante inferior 889 ± 138 micras. Así, al medir la M.T en este trabajo se propone reconsiderar un nuevo punto de corte para las medidas angulares, ya que sigue existiendo M.T más allá de las 500 micras.

En éste trabajo destaca que no encontraron correlación entre la longitud de la M.T con las medida estándar del ángulo, ni con el ojo contralateral (es decir, ojos derechos frente a ojos izquierdos), ni con factores demográficos como el sexo o la edad de los individuos estudiados. Éstos resultados son coincidentes con los obtenidos en nuestro estudio como ya hemos expuesto.

En el estudio de Cheung y cols.¹⁵¹ se afirma que la longitud de MT media fue de 670 micras (rango de 390 a 1230), sin embargo, al considerar sólo los resultados de los sectores nasal y temporal, la longitud media de la MT fue de 467 ± 60 micras, datos más acordes con los observados en nuestro trabajo.

Por su parte Tomohiko y cols.²³⁴ obtuvieron una longitud media de la M.T de $466,9 \pm 60,7$ micras. No existieron diferencias en las medidas entre los OD y los OI, ni entre nasal y temporal. Una limitación de su trabajo es que no ofrecen información

DISCUSIÓN

estratificada en cuanto a los dos grupos que componen su población, sujetos normales y sospechosos de cierre angular primario (tabla 43).

COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS DE LA LONGITUD DE LA M.T.				
Autor, año	Nº ojos	Características población	Longitud M.T. (micras)	OCT
Cheung, 2011	73	sanos	467 ±60	HD-OCT
Tomohiko, 2011	84	sanos	466,9 ±60,7	CASIA
Tun, 2013	116	sanos	734 ±116	Swept source
Fdez-Vigo, 2013	2.012	sanos	504,91 ±103,21	RTVue

Tabla 43: Comparación de la longitud media de la malla trabecular en los sectores horizontales en diferentes autores. Se incluye en esta tabla el número total de ojos estudiados (2.012 ojos de los cuales se pudo medir la longitud de la MT en 1.831).

En cuanto al grosor de la malla trabecular, Dietlein y cols.²³⁵ en el año 2000 realizaron un trabajo intentando describir la variación morfológica de la malla trabecular mediante un estudio histológico midiendo su tamaño, en pacientes normales y con glaucoma. En su descripción el grosor de la malla varía desde las 70 micras en su parte anterior, a las 110-130 micras en su parte posterior, dato que es muy similar al obtenido en nuestros imágenes tomográficas, siendo algo superiores nuestras medidas, ya que incluimos en ellas el canal de Schlemm y la sombra producida por el surco escleral, por considerar que existe una gran interrelación entre ellas.

El área de la malla trabecular media en nuestro estudio fue de $0,067 \pm 0,023 \text{ mm}^2$, presentando un amplio rango de valores que incluyen desde grandes superficies de malla como los $0,126 \text{ mm}^2$, hasta los $0,023 \text{ mm}^2$ que representan mallas destacablemente pequeñas. Tomohiko y cols.²³⁴ fue el primer trabajo que aportó información en cuanto al área de la malla trabecular, obteniendo un área media de $0,067 \pm 0,058 \text{ mm}^2$, resultado prácticamente idéntico al que hemos obtenido en nuestro estudio ($0,067 \pm 0,023 \text{ mm}^2$).

Uno de los puntos de mayor controversia en la literatura en cuanto a la identificación de las estructuras angulares mediante la OCT es la posibilidad de detectar el canal de Schlemm.

Bajo nuestro punto de vista, las dos estructuras más interesantes del ángulo iridocorneal son la malla trabecular y el canal de Schlemm. En nuestro trabajo la M.T es muy fácil de identificar, pero el Schlemm no se visualiza de una manera clara e independiente de la M.T como afirman otros autores.

Consideramos que es clave para una correcta interpretación de la imagen tomográfica tener en cuenta, como hemos descrito en la introducción, que el diámetro del canal depende de la PIO, así cuando la presión está muy elevada este canal se encuentra ausente, sin embargo, con presiones bajas el calibre del canal aumenta.

Kageman^{22,23,24,25} demostró en sus trabajos que cuando existe una presión de perfusión de 20 mmHg en la cámara anterior, no se aprecia el canal de Schlemm. Sin embargo con presiones de perfusión de 10 mmHg, este puede ser visualizado claramente.

En el interesante artículo del año 2011 del grupo de Tomohiko Usui y cols.²³⁴ describieron la identificación del canal de Schlemm y sus tejidos circundantes, realizando una OCT con el dispositivo CASIA. Se realizó la OCT a 2 ojos enucleados y además se realizó un estudio en 60 ojos de 30 pacientes (17 pacientes normales y 13 pacientes sospechosos de cierre angular primario) con una edad media de 56,7 años. Se realizó una primera captura de imagen para intentar identificar el canal de Schlemm. A continuación el Schlemm era expandido con viscoelástico. Tras la viscocanalostomía, se realizaba de nuevo una OCT y posteriormente se analizaban histológicamente los ojos enucleados para confirmar la presencia e identificación correcta del Schlemm en la misma posición que en las imágenes obtenidas mediante OCT. Se consideró que el canal de Schlemm era identificado mediante OCT, cuando se observaba un fino espacio negro en la porción más externa del surco escleral interno. Asrani y cols.²³⁶ por su parte, definen el canal de Schlemm como una imagen en forma de arco negro que delimita todo el contorno de la M.T. En el artículo de Tomohiko²³⁴ afirman no estar de acuerdo con la interpretación ofrecida por Asrani y cols. En

DISCUSIÓN

nuestra opinión, consideramos más correcta y más acorde a nuestras imágenes la interpretación llevada a cabo por el grupo de Tomohiko y cols.

En el estudio de Tomohiko y cols. afirmaron identificar el canal de Schlemm, al menos parcialmente, en un 85% y 90% en los cuadrantes nasal y temporal respectivamente, y en nuestros resultados lo identificamos junto a la M.T por la gran interrelación que consideramos que existe, en un 91%. Además en nuestras imágenes es frecuente visualizar en la pared escleral la aparición de diferentes canales colectores.

Por el contrario, en el trabajo del grupo de Quek y cols.¹⁹² en 2012, afirman que el canal de Schlemm se visualiza como una zona curvínea radioopaca externa a la malla trabecular, que se identifica en un 10% de los pacientes con Cirrus HD-OCT, y en un 13% con iVue OCT.

En el trabajo de Tun y cols.¹⁸² con OCT Swept source, afirman identificar con una visibilidad variable el canal de Schlemm (no aportan el dato) siendo adyacente a la zona posterior de la MT.

6. DISCUSIÓN RESPECTO A LOS PARÁMETROS ANGULARES:

La OCT como hemos visto, puede ser una exploración ideal como screening para la detección de ángulo estrechos en grandes poblaciones por ser independiente de un explorador experto, ser una técnica rápida, práctica, no invasiva y económica, y que presenta una alta sensibilidad y especificidad.

En nuestra población, hemos medido tanto los parámetros angulares que se han estandarizado en los últimos años, como los parámetros originales que proponemos por considerarlos más exactos.

En cuanto a los resultados de los parámetros angulares medidos en nuestro trabajo el AOD₅₀₀ medio fue de 539,13 ±287 micras (rango 15 - 1770), siendo el DIM (distancia iris-malla) medio de 540 ±278 micras (rango 19 - 1720). El TISA₅₀₀ medio fue de 0.19

$\pm 0.10 \text{ mm}^2$, (rango 0,02-0,62), siendo el área pretrabecular media de $0.21 \pm 0.13 \text{ mm}^2$, (rango 0.01-0,97).

En la medida de nuestros parámetros existe una gran desviación estándar, debida a la gran amplitud del rango de las medidas. Con respecto al AOD₅₀₀ la gran variación de la desviación estándar que presenta se debe a que en nuestra población su rango va desde 15 hasta 1770 micras, ya que el rango de nuestra abertura angular con OCT es desde los 1,42 hasta los 78 grados. No obstante, el grupo de Orta-Arellano y cols.²³⁷ en 2009, analizó 108 ojos de 97 pacientes de una población mejicana para intentar definir las variaciones normales en los parámetros del ángulo con OCT Visante. La edad media de la población fue de 30,89 años, significativamente menor que en otras series y que en nuestra población. Afirman en el mismo, que como ya se ha reportado la menor reproducibilidad en la medición del ángulo superior e inferior debido al cierre palpebral y a la posibilidad de alteración de las medidas tras manipular el párpado, sólo midieron el ángulo a 0° y 180°, en los cuadrantes horizontales. La media de la medida del AOD₅₀₀ en su estudio fue de 569 ± 284 micras, y el TISA₅₀₀ $0,193 \pm 0,096 \text{ mm}^2$, resultados casi idénticos y muy concordantes a los obtenidos en nuestro estudio ($539,13 \pm 287$, y $0.19 \pm 0.10 \text{ mm}^2$ respectivamente). En dicho estudio concluyen la necesidad de aumentar el grupo estudiado para posteriormente compararla con el ángulo de ojos con glaucoma y determinar así los valores de riesgo para el cierre angular.

En el año 2008 Leung y cols.¹⁵⁵ realizaron un estudio en 49 sujetos sanos siendo el AOD₅₀₀ medio con OCT Visante en el cuadrante nasal de 527 ± 249 micras, y el TISA₅₀₀ de $0,180 \pm 0,091$, mientras que en temporal el AOD medio fue de 534 ± 234 micras, y el TISA de $0,191 \pm 0,089 \text{ mm}^2$, resultados todos ellos muy similares a los observados en nuestra población

Perera y cols.¹⁹¹ realizaron medidas del AOD con la OCT RTVue, la misma que fue empleada en nuestro trabajo, y la OCT Visante, obteniendo como resultados en el cuadrante nasal 435 ± 95 micras y 444 ± 98 micras respectivamente, y en el temporal 443 ± 103 micras y 452 ± 99 micras respectivamente, resultados ligeramente inferiores a nuestros valores. El estudio fue llevado a cabo con 81 sujetos de nacionalidad china,

DISCUSIÓN

con una edad media de $64,1 \pm 11,4$ años, que es muy superior a la edad media de nuestra población, que es de $49 \pm 14,2$ años, y por tanto, las medidas pueden verse influenciadas por ello, ya que como expusimos en nuestros resultados, existe una correlación negativa entre la edad y la abertura angular medida con la OCT ($r = -0,487$, $p < 0,0001\%$). Además la raza también podría influir en dichas mediciones.

En el estudio de Amerasinghe y cols.¹⁹⁵ el AOD₅₀₀ medio fue de 255 micras en el sector nasal y de 245 micras en el sector temporal en mujeres. En los hombres estos valores en el cuadrante nasal fueron de 293 micras y en temporal de 286 micras. El TISA₅₀₀ medio fue de $0,117 \pm 0,058 \text{ mm}^2$ en hombres y $0,104 \pm 0,037 \text{ mm}^2$ en mujeres en nasal; y $0,109 \pm 0,045 \text{ mm}^2$ en hombres y $0,097 \pm 0,045 \text{ mm}^2$ en mujeres en temporal. Estos valores son claramente inferiores a los obtenidos tanto en nuestro estudio como en el resto de grupos de trabajo, sin que encontremos ninguna causa que lo justifique.

En el estudio de Tan y cols.¹⁸³ el AOD₅₀₀ medio fue de 472 ± 36 micras, y el TISA₅₀₀ medio de $0,163 \pm 0,014 \text{ mm}^2$ en el sector temporal, y de 479 ± 46 micras y $0,168 \pm 0,015 \text{ mm}^2$ respectivamente en el sector nasal. En éste trabajo, no encuentran diferencias en cuanto a los sectores nasal y temporal.

Los parámetros angulares también pueden tener utilidad para cuantificar mediante OCT el cambio que se produce en la abertura angular tras la cirugía de la catarata. En el estudio de Huang y cols.²³⁸ que analiza el ángulo previamente y 3 meses postcirugía de catarata, cuantificaron que existía un aumento del AOD promedio de 179 micras, siendo AOD₅₀₀ previo a la cirugía de 254 micras, y posteriormente a la cirugía se incrementó hasta las 433 micras. Lo mismo ocurre con el TISA₅₀₀ que fue de $0,105 \pm 0,035 \text{ mm}^2$ previamente a la cirugía, para incrementarse hasta los $0,159 \pm 0,035 \text{ mm}^2$ tras la cirugía.^{239,240, 241,242,243}

Kim y cols.²⁴⁴ estudiaron la abertura angular y el AOD₅₀₀ y TISA₅₀₀ en 39 sujetos normales y en 18 sospechosos de cierre angular primario mediante OCT Visante, obteniendo imágenes en temporal, nasal, e inferior, en condiciones de luz y oscuridad. No existieron diferencias entre OD y OI en cuanto a los parámetros estudiados ($p < 0,05$). En cuanto a los sujetos normales, la media del AOD₅₀₀ temporal en el OD fue de 755 micras (rango 222 a 1590), y el TISA₅₀₀ fue de $0,234 \text{ mm}^2$ (rango de $0,057$ a

0,444). En el OI el AOD₅₀₀ medio fue de 729 micras (rango 284 a 1479), siendo el TISA₅₀₀ medio de 0,262 mm² (rango 0,110 a 0,557). Sugieren por tanto, que diferencias entre el ojo derecho y el ojo izquierdo de un paciente en cuanto a los parámetros angulares, podrían ser un signo de sospecha de patología. En el grupo de sospechosos de cierre angular primario, el AOD₅₀₀ temporal fue de 286 micras, siendo el TISA₅₀₀ de 0,109 mm², valores claramente inferiores respecto a los sujetos normales. En sujetos normales, el AOD₅₀₀ nasal y el TISA₅₀₀ nasal fueron de 651 micras y 0,234 mm² en el OD, y de 662 micras y 0,236 mm² respectivamente en el OI. Concluyen que las medidas en el cuadrante temporal son más amplias que en el nasal y el inferior, siendo los resultados estadísticamente significativos. La reproducibilidad de la técnica fue muy buena en los cuadrantes horizontales tanto intersesión (0.796) como interoperador (0.981), y fue menor en el cuadrante inferior (0.662 y 0,892).

En cuanto a la comparación de las medidas del segmento anterior ocular entre OCT Swept source y el SPAC, se publicó un trabajo en 2011 por Furuya y cols.²⁴⁵ Se realizó en 70 ojos derechos de 70 pacientes con glaucoma con una edad media de 66 años. El AOD₅₀₀ medio fue de $484,4 \pm 241,7$ micras, y el TISA₅₀₀ medio de $0,16 \pm 0,09$ mm². Los valores de AOD y TISA sólo se midieron en temporal, y por tanto, fueron las medidas de éste sector, las que se correlacionaron con otros parámetros, al igual que ocurre en nuestro trabajo. El AOD y el TISA estaban correlacionadas con el grado de abertura angular determinado mediante SPAC ($r= 0,66$ y $0,50$ respectivamente, $p<0,0001$). Concluyeron que las medidas entre ambos dispositivos estaban correlacionadas, pero no eran intercambiables.

Amerasinghe y cols.¹⁹⁵ realizaron un estudio en una población de malayos sanos de Singapur con la OCT Visante. Se estudiaron 291 ojos derechos del mismo número de pacientes consecutivos en condiciones de oscuridad estándar y sólo en los sectores nasal y temporal, Además se afirma que el AOD₅₀₀ se correlaciona mejor con el grado gonioscópico que el TISA₅₀₀, por lo que es el parámetro que se maneja en la literatura para predecir el cierre angular. Sin embargo, un argumento a favor del TISA₅₀₀ es que está menos influenciado por las variaciones en el contorno del iris.

DISCUSIÓN

En el estudio llevado a cabo por Grewal y cols.¹⁷⁸ en el que midieron el AOD₅₀₀ en nasal y temporal, y el TISA₅₀₀ en nasal y en temporal, el parámetro que mejor predecía los ángulos estrechos fue el AOD₅₀₀ temporal, que es el parámetro que escogimos en nuestro trabajo para realizar el estudio de correlaciones.

COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS DE LA DISTANCIA DE ABERTURA ANGULAR (AOD)					
Autor, año	Nº ojos	Edad media	Características población	AOD ₅₀₀ (micras)	OCT
Radhakrishnan, 2005	31	42.9	17 sanos 14 Glau. Ang estrecho	440 ±58	Prototipo
Leung, 2008	49	34.5	sanos	534 ±234	Visante
Orta Arellano, 2009	108	30.9	sanos	569 ±284	Visante
Amerasinghe, 2009	239	56.9	sanos	266 ±138	Visante
Tan, 2011	40	44	sanos	472 ±36	Visante
Kim, 2011	114	29.2	78 sanos 36 sospechosos cierre angular	755 286	Visante
Furuya, 2011	70	66	57 Glau. Ang abierto 13 Glau. Ang estrecho	484 ±241	CASIA
Huang, 2011	73	77.4	Postcirugía catarata	433	Visante
Grewal, 2011	265	55.2	sanos	490 ±220	RTVue
Perera, 2012	81	64	sanos	443 ±103 452 ±99	RTVue Visante
Fdez-Vigo, 2013	2.012	49	sanos	539 ±287	RTVue (y Pentacam)

Tabla 44: Comparación entre las medidas de AOD en el sector temporal entre diferentes autores. Los resultados se refieren al parámetro AOD₅₀₀, excepto en el caso de Cheung y Kim que utilizaron el parámetro AOD-SL. Se incluye en la tabla el total de ojos estudiados.

Además de la gonioscopia, la prueba de imagen de referencia en cuanto a la valoración del ángulo camerular ha sido la BMU. Radhakrishnan y cols.¹⁶⁰ realizaron un estudio en 2005 con OCT, BMU y gonioscopia, que ha sentado las bases del posterior desarrollo de las medidas angulares mediante OCT. El objetivo de éste trabajo fue clasificar ángulos potencialmente ocluibles comparando gonioscopia, OCT-SA y BMU. La OCT empleada fue un prototipo que realizaba 4.000 A scans/seg. Se realizó el estudio en 31 ojos, 17 de los cuales eran pacientes sanos y 14 de pacientes con glaucoma de ángulo estrecho. En éste trabajo se midió el AOD₅₀₀, anteriormente propuesto por Pavlin y cols.^{79,80,81} y se propusieron y definieron por primera vez las medidas TISA₅₀₀ y TICL. La OCT y la BMU demostraron una gran precisión en cuanto a la identificación de los ángulos que eran catalogados como estrechos en gonioscopia. En cuanto a los resultados de las medidas obtenidas con BMU, el AOD₅₀₀ medio fue de 370 ± 55 micras y 410 ± 72 micras para los sectores nasal y temporal respectivamente. El TISA₅₀₀ medio fue de $0,15 \pm 0,026 \text{ mm}^2$ y $0,18 \pm 0,091 \text{ mm}^2$ para los sectores nasal y temporal respectivamente.

En cuanto a los resultados de las medidas obtenidas mediante OCT, el AOD₅₀₀ medio fue de 440 ± 56 micras y 440 ± 58 micras para los sectores nasal y temporal respectivamente. El TISA₅₀₀ medio fue de $0,15 \pm 0,018 \text{ mm}^2$ y $0,17 \pm 0,047 \text{ mm}^2$ para los sectores nasal y temporal respectivamente. En éste trabajo afirman que no se ofrecen resultados del TICL debido a que la muestra era demasiado pequeña.

Un aspecto muy novedoso y relevante de éste estudio, es que propusieron valores de corte realizando curvas ROC (Característica Operativa del Receptor), para considerar un ángulo como sospechoso de cierre angular. Los puntos de corte fueron 191 micras para el AOD₅₀₀, con una sensibilidad del 100% y una especificidad del 87,5%, y $0,11 \text{ mm}^2$ para el TISA₅₀₀, con una sensibilidad y especificidad de 87 y 100% respectivamente. En nuestro trabajo 233 ojos sobre un total de 2.012, se podrían considerar ángulos estrechos considerando como tal aquellos que miden 20 grados o menos respecto a su abertura angular. Si estableciéramos el punto de corte en 191 micras de AOD₅₀₀ como afirma Radhakrishnan, entonces 123 ojos sobre un total de 2.012 de nuestra población serían clasificados como sospechosos de cierre angular. En nuestra población un punto

DISCUSIÓN

de corte de 191 micras de AOD, equivaldría a un ángulo de aproximadamente 19,35 grados de abertura angular.

Cheung y cols.¹⁵¹ analizaron 73 ojos de 73 pacientes con glaucoma a los que se les realizó gonioscopia y OCT. Los resultados de las mediciones del AOD en ángulos clasificados como potencialmente ocluibles o cerrados en gonioscopia, variaron desde 94 a 172 micras, siendo éstas medidas superiores en los ángulos clasificados como abiertos en gonioscopia, siendo los valores desde 286 a 347 micras. Aunque Cheung y cols. no propusieron un punto de corte tras la medida del AOD con OCT para considerar un ángulo como de riesgo de cierre angular, basándose en los resultados de este estudio, otros autores consideran que podría ser aproximadamente de 230 micras.

En el estudio de Kim y cols.²⁴⁴ los ángulos sospechosos de cierre angular mostraron unos valores de AOD de 0 a 350 micras, y los ángulos abiertos entre 192 y 922 micras. Así este grupo de trabajo también determinó un punto de corte para clasificar los ángulos con la medida de la distancia de abertura angular en OCT, como sospechosos de cierre angular siendo de 290 micras, tras el cálculo mediante curvas ROC.

Por tanto, diferentes grupos de trabajo han intentado establecer un punto de corte mediante la medida de la abertura angular con OCT para determinar qué ojos son sospechosos de un cierre angular. Este dato oscila, como acabamos de ver, según los diferentes autores entre los 190, 230 y 290 micras. Éste aspecto presenta una gran relevancia clínica de aplicación inmediata en la práctica diaria, ya que podría identificar a los sujetos que se podrían beneficiar de una iridotomía periférica profiláctica, medida que como se ha demostrado en la literatura, amplía las dimensiones del ángulo y evita el desarrollo o aparición de diferentes patologías relacionadas con el glaucoma.^{246,247,248,249}

Hemos medido los parámetros que se consideran estándar en la literatura en la medición del ángulo, como son la abertura angular en grados, la distancia de abertura angular, y el área iridotrabecular, y además proponemos como medidas alternativas la distancia iris-malla, y el área pretrabecular

Ser capaces de detectar y medir las dimensiones de la M.T puede mejorar la precisión de las mediciones del ángulo y la detección del cierre angular. La actual definición de los parámetros del ángulo (AOD_{500} , AOD_{750} , $TISA_{500}$ y $TISA_{750}$) se hace con la asunción que la M.T se puede encontrar a una distancia de 500 o 750 micras del espolón escleral. Ésta asunción no ha sido validada.

Proponemos la distancia iris malla como alternativa al AOD y el área pretrabecular como alternativa al TISA por considerarlas más exactas, ya que siempre se tiene en cuenta al realizar la medida toda la longitud de la malla.

El AOD y el TISA en cambio, presentan limitaciones en ángulos que no son estrictamente normales. Cuando existe un contacto irido-trabecular, no se pueden trazar ni el AOD ni el TISA ya que la medida no se puede realizar desde el espolón escleral.

Además el AOD no tiene en cuenta en ningún caso la longitud de la malla trabecular, ya que por definición la perpendicular es trazada a 500 micras del espolón escleral. Esto no tiene en cuenta la variación normal de la longitud de la malla en diferentes individuos, como en el caso de nuestro estudio en el que el rango es de 879 micras en el mayor de los casos, hasta las 319 micras en el menor de ellos.

El área pretrabecular también es una medida original que presentamos como alternativa al TISA por considerar que también existen limitaciones en dicha medida. Cuando existe contacto irido-trabecular en ángulos muy cerrados, el área que representa el TISA no es real, ya que incluye en éste área parte del iris y no exclusivamente el área de cámara anterior en el que existe circulación del humor acuoso.

En la segunda parte de nuestro estudio, las medidas referidas a la malla trabecular y a su relación con la cámara anterior y el iris (AOD, TISA, distancia iris-malla y área pretrabecular) presentan unos rangos muy amplios, que reflejan las notables diferencias que existen entre los diferentes individuos.

DISCUSIÓN

Las medidas estándar del ángulo (AOD y TISA) están diseñadas a 500 micras del espolón escleral, y considerando que una malla estándar sería de 450 a 550 micras, sólo un 37% de las mallas que hemos medido quedarían agrupadas en ese rango, y el 63% de las mallas quedarían infra o sobreestimadas.

AOD y TISA servirían para el 37% de las mallas, DIM y Área pretrabecular para el 100%.

Una observación realmente interesante, ya que permite una descripción mucho más precisa del estado del ángulo, es la visualización del contacto iridotrabecular en vivo y de una manera no invasiva. Bajo nuestro punto de vista esta es la característica más importante en el diagnóstico del cierre angular, aspecto que puede ser visualizado con la OCT RTVue Fourier Domain, aunque no se visualice toda la cámara anterior como sí ocurre en la OCT Visante.

Debido a la importancia del contacto iridotrabecular, Radhakrishnan, como acabamos de ver, describió el TICL o longitud de contacto iridotrabecular. Este parámetro ha sido medido en nuestro estudio obteniendo un valor de $238,97 \pm 79,04$ micras (rango 103 a 495 micras).

Además debido a la alta resolución que presentan nuestras imágenes, y que nos permiten medir tanto la longitud de la malla trabecular como la longitud del contacto iridotrabecular, hemos medido un parámetro original que proponemos en este trabajo que es el TICL porcentual. De esta manera se puede conocer no sólo si existe o no un contacto iridotrabecular, si no el porcentaje que representa la longitud del contacto iridotrabecular sobre la longitud total de la malla.

El TICL porcentual medio fue de $46,98 \pm 13,87\%$ (rango 17,2 a 76,3%). Por tanto, en nuestra población de sujetos sanos, en los casos en los que existió contacto iridotrabecular (1,6% del total de ojos) la malla trabecular se encontraba de media obstruida por el iris prácticamente en la mitad de su superficie (46,98%), quedando sólo la mitad de su longitud en contacto directo con el humor acuoso de la C.A.

En ángulos cerrados, la prueba gold standard para diferenciar un cierre angular sinequial de uno aposicional es la gonioscopia de indentación. Diferentes trabajos afirman que no es posible diferenciar estas dos entidades mediante OCT. Aunque no es

uno de los objetivos de éste trabajo, hemos obtenido diferentes imágenes que debido a la alta resolución que presentan sugieren que podrían diferenciarse ambas entidades. Así, en el futuro, con el desarrollo de OCT de mayor calidad, podrían diferenciarse estas dos entidades.^{250,251,252}

LIMITACIONES Y PUNTOS DÉBILES

- Las imágenes evalúan un único punto de la estructura, la localización exacta en la que son captadas. Por tanto, es una única imagen por cada cuadrante. Éstas medidas pueden estar modificadas por irregularidades u ondulaciones puntuales en el contorno iridiano. La gonioscopia por contra, valora el ángulo en todo su cuadrante. Esta limitación se podría solventar examinando los cuatro cuadrantes dada la sencillez de la técnica y realizando mapeados como en otras técnicas radiológicas.
- No se han medido los cuadrantes verticales, debido a la peor visualización en cuanto a la identificación de estructuras, y a la necesidad de manipular los párpados para la captura de imágenes, con el riesgo de producir artefactos o modificaciones en las mismas.
- En el estudio general, sólo se han realizado medidas del sector temporal mediante OCT en ambos ojos de cada paciente. Las correlaciones entre el ángulo y el resto de variables, son referidas por tanto, a las mediciones del sector temporal.
- Todas las medidas de nuestro estudio en cuanto a la abertura angular, los parámetros angulares y la malla trabecular han sido realizadas de manera manual, con el posible sesgo que pudiera existir.
- Aunque no se considera una limitación metodológica, no se ha realizado un estudio comparativo entre la concordancia de la OCT RTVue FD con gonioscopia, sin embargo, existen numerosos trabajos que demuestran una buena concordancia. El motivo de no realizar gonioscopia ha sido que existían numerosas publicaciones acerca de la concordancia entre OCT y gonioscopia, por lo que no lo considerábamos como un aspecto original que pudiera aportar nuestro trabajo. Además, al ser una técnica de contacto, y debido al gran volumen de pacientes que tenemos en el estudio, por cuestiones logísticas se decidió obviar dicha exploración.

DISCUSIÓN

- No se realizaron medidas en cuanto al volumen del cristalino.^{253,254} Ninguno de los pacientes presentaba una catarata cercana al rango quirúrgico, pero el volumen del cristalino está demostrado en la literatura científica, que puede modificar las medidas de la abertura angular, ya que puede estrechar el ángulo. Tampoco se ha estudiado la posición del cristalino, que como se ha demostrado en la bibliografía, una posición más anterior del mismo está relacionado con ángulo más estrecho.
- Como incógnita sin resolver, no hemos sido capaces de identificar el canal de Schlemm separadamente de la MT. Una identificación clara y fiable podría ser clave en el futuro para el estudio de las vías de drenaje.

REPERCUSIÓN Y APORTACIONES ORIGINALES DE NUESTRO TRABAJO

- La población es posiblemente la más numerosa y homogénea de la bibliografía en los aspectos claves de nuestro estudio. Representa la población normal, bien distribuida y que en los parámetros comparables oftalmologicamente es similar a la población normal, por ejemplo en paquimetría y PIO. Los valores estadísticos y correlaciones son muy fiables.
- Consideramos que hemos realizado una completa descripción de la normalidad del ángulo cuantificando su abertura y la influencia de determinados factores como la edad, el defecto refractivo, el sexo, etc.
- Demostramos que la OCT-SA FD sirve además para el estudio de las estructuras que componen el ángulo y para plantearnos nuevos conceptos para definirlo. De forma que puede ser útil, no solo para diagnosticar ángulos potencialmente ocluibles, sino también para el estudio del glaucoma de ángulo abierto en todas sus formas.
- Hemos podido medir la malla trabecular “in vivo”. Aspecto absolutamente novedoso y de potencial trascendencia en cuanto al entendimiento del mecanismo de eliminación del humor acuoso. Además hemos podido constatar que la malla es una estructura morfológica y morfométricamente independiente del resto de las estructuras.
- Los resultados obtenidos nos permiten considerar como fundamentales dos medidas para definir y clasificar el ángulo: la abertura expresada en grados y el concepto de malla trabecular expuesta al humor acuoso, que es la longitud de la malla trabecular libre de contacto iridotrabecular.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- 1.- La OCT-SA FD es una técnica eficaz y reproducible en el análisis y medición del ángulo iridocorneal y la malla trabecular.
- 2.- La OCT-SA FD permite identificar las estructuras que conforman el ángulo definiendo sus características tomográficas y cuantificando su frecuencia de aparición. Los signos tomográficos más relevantes, y que fueron identificados en un porcentaje muy elevado de los casos, han sido el limbo externo, la transición corneo-escleral, la malla trabecular y el espolón escleral.
- 3.- La OCT-SA FD permite medir de forma precisa la abertura angular en grados. Esta se correlaciona fuertemente con la edad, el sexo, el defecto refractivo esférico, y la profundidad y volumen de la cámara anterior, no observándose correlación con la presión intraocular.
- 4.- Existe una concordancia baja en cuanto a la medida de la abertura angular entre la OCT-SA FD y el dispositivo de cámara de Scheimpflug, no siendo equivalentes sus valores.
- 5.- La OCT-SA FD permite medir de forma precisa la malla trabecular, concretamente su longitud, grosor y área. No existió correlación entre las medidas de la malla trabecular con ninguno de los parámetros generales ni parámetros morfométricos del globo ocular estudiados en nuestra población.
- 6.- La OCT-SA FD permite medir de forma precisa los parámetros clásicos del ángulo como son la distancia de abertura angular (AOD), área irido-trabecular (TISA), y longitud de contacto iridotrabecular (TICL).
- 7.- La OCT-SA FD permite además medir nuevos parámetros del ángulo que proponemos como originales, como son la distancia iris-malla, el área pretrabecular, y la longitud de contacto iridotrabecular porcentual.
- 8.- Los parámetros originales propuestos en este trabajo permiten medir de una forma más exacta y eficaz el ángulo camerular, ya que tienen en cuenta la longitud de la

mallla trabecular. Además pueden medirse en ángulos en los que existe contacto iridotrabecular, al contrario que en el caso del AOD y el TISA.

9.- El Pentacam® y el IOL Master® permiten medir de forma precisa y eficaz la profundidad de la cámara anterior, presentando una gran concordancia entre ellas y siendo comparables sus medidas.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. García Sánchez J, Honrubia López F, García Feijóo J, Pablo Júlvez L. Madrid. Diagnóstico y tratamiento del glaucoma de ángulo abierto. Ed Sociedad Española de Oftalmología. 2013.
2. Alward WLM. Glaucoma: los requisitos en oftalmología. Editorial Mosby. 2000.
3. Kagemann L, Wollstein G, Ishikawa H, Bilonick RA, Brennen PM, Folio LS, Gabriele ML, Schuman JS. Identification and assessment of Schlemm's canal by spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010 Aug;51(8):4054-9.
4. Smith SD, Singh K, Lin SC, Chen PP, Chen TC, Francis BA, Jampel HD. Evaluation of the anterior chamber angle in glaucoma: a report by the american academy of ophthalmology. *Ophthalmology*. 2013 Oct;120(10):1985-97.
5. Ortiz Urdiain G., Díaz Flores I. Histología del ojo y sus anexos. A.G Cuscó, Ed. Barcelona, 1977.
6. Duane's Foundations of Clinical Ophthalmology. J.B. Lippincott Company, Philadelphia. 2001; pp. 1–30.
7. Tasman W, Jaeger E. Duane's Ophthalmology. Lippincott Williams & Wilkins. 2002.
8. Raviola E. The eye. En: Bloom W, Fawcett DW, Textbook of Hystology. 12ª Ed. Pág. 963.
9. Shaffer RN, Schwartz A. Gonioscopy. *Surv Ophthalmol*. 1957;2:389-409.
10. Sampaolesi R. Glaucoma. Buenos Aires. Médica Panamericana, 1991.
11. Tamm E, Flügel C, Stefani FH, Rohen JW. Contractile cells in the human scleral spur. *Exp Eye Res* 1992;54:531–543.
12. Tamm ER, Flügel C, Stefani FH, Lütjen-Drecoll E. Nerve endings with structural characteristics of mechanoreceptors in the human scleral spur. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1994;35:1157–1166.
13. Van Buskirk. Atlas clínico del glaucoma. Doyma. 1989
14. Bill A, Svedbergh B. Scanning electron microscopic studies of the trabecular meshwork and the canal of Schlemm – an attempt to localize the main resistance to outflow of aqueous humor in man. *Acta Ophthalmol* 1972;50:295–320.
15. Grant WM. Experimental aqueous perfusion in enucleated human eyes. *Arch Ophthalmol* 1963;69:783–801.
16. Lütjen-Drecoll E, Rohen JW. Functional morphology of the trabecular meshwork. In: Tasman, W., Jaeger, E.A. (Eds.),
17. Kelley MJ, Rose AY, Keller KE, Hessle H, Samples JR, Acott TS. Stem cells in the trabecular meshwork: present and future promises. *Exp Eye Res* 2009;88:747–751.
18. Tamm ER. The trabecular meshwork outflow pathways: Structural and functional aspects. *Exp Eye Res* 2009;88:648-655.
19. Potau JM, Canals M, Costa J. Ultrastructural characteristics of glaucomatous trabecular meshwork. *Arch Soc Esp Oftalmol*. 2000; 75(1): 21-28.
20. Triviño Casado A, Ramírez Sebastián JM, García Sánchez J. Anatomía del conducto de Schlemm y sus vías de drenaje. *Arch. Soc. Esp. Oftalmol*. 1986; 50: 379-384.
21. Ramírez JM, Ramírez AI, Salazar JJ, Rojas B, De Hoz R, Triviño A. Schlemm's canal and the collector channels at different developmental stages in the human eye. *Cells Tissues Organs*. 2004; 178(3): 180-185.
22. Kagemann L, Wollstein G, Ishikawa H, Nadler Z, Sigal IA, Folio LS, Schuman JS. Visualization of the conventional outflow pathway in the living human eye. *Ophthalmology*. 2012 Aug;119(8):1563-8.
23. Kagemann L, Ishikawa H, Wollstein G, et al. Reproducibility of Measurements of Aqueous Velocity Within Schlemm's Canal With Spectral Domain Optical Coherence Tomography. *Association for Research in Vision and Ophthalmology*. Fort Lauderdale, FL, USA; 2008.

-
24. Kagemann L, Wollstein G, Ishikawa H, Sigal IA, Folio LS, Xu J, Gong H, Schuman JS. 3D visualization of aqueous humor outflow structures in-situ in humans. *Exp Eye Res*. 2011 Sep;93(3):308-15.
 25. Kagemann L, Wollstein G, Ishikawa H, Townsend KA, Schuman JS. Validation of spectral domain optical coherence tomographic Doppler shifts using an in vitro flow model. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009;50:702-706.
 26. Sit AJ, Coloma FM, Ethier CR, Johnson M. Factors affecting the pores of the inner wall endothelium of Schlemm's canal. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1997;38:1517-1525.
 27. Bill A, Phillips CI. Uveoscleral drainage of aqueous humour in human eyes. *Exp Eye Res* 1971;12:275-81.
 28. Alm A, Nilsson SFE. Uveoscleral outflow-A review. *Exp Eye Res* 2009;88:760-768.
 29. McEwen WK. Application of Poiseuille's law to aqueous outflow. *Arch Ophthalmol* 1958;60:290-294.
 30. Nilsson SFE, Bill A. Physiology and neurophysiology of aqueous humor inflow and outflow, in: Kaufman, P.L., Mittag, T.W. (Eds.), *Glaucoma* (ed. P.L. Kaufman, T.W. Mittag). Mosby-Year Book Europe Ltd., 1994.
 31. Bill A, Hellsing K. Production and drainage of aqueous humor in the cynomolgus monkey (*Macaca irus*). *Invest Ophthalmol* 1965;4:920-926.
 32. Johnson M. What controls aqueous humor outflow resistance? *Exp Eye Res* 2006;82:545-557.
 33. Toris CB, Yablonski ME, Wang YL, Camras CB. Aqueous humor dynamics in the aging human eye. *Am J Ophthalmol* 1999;127:407-412.
 34. Sommer A. Intraocular pressure and glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1989;107:186-188.
 35. Coleman AL. Glaucoma. *Lancet*. 1999;354(9192):1803-10.
 36. Aung T, Chew PT. Review of recent advancements in the understanding of primary angle-closure glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol* 2002;13:89-93.
 37. Van Herick W, Shaffer RN, Schwartz A. Estimation of width of angle of anterior chamber. Incidence and significance of the narrow angle. *Am J Ophthalmol*. 1969;68(4):626-9.
 38. Vargas E, Drance SM. Anterior chamber depth in angle-closure glaucoma. Clinical methods of depth determination in people with and without the disease. *Arch Ophthalmol*. 1973;90(6):438-9.
 39. Spaeth GL. The normal development of the human anterior chamber angle: a new system of descriptive grading. *Trans Ophthalmol Soc U K*. 1971;91:709-39.
 40. Bruno CA, Alward WL. Gonioscopy in primary angle closure glaucoma. *Semin Ophthalmol*. 2002;17(2):59-68. Review.
 41. Vila Arteaga J, Martínez Belda R. *Atlas fotográfico de gonioscopia*. Barcelona; Editorial Glosa S.L. 2012.
 42. Chan RY, Smith JA, Richardson KT. Anterior segment configuration correlated with Shaffer's grading of anterior chamber angle. *Arch Ophthalmol*. 1981;99(1):104-7.
 43. Forbes M. Gonioscopy with corneal indentation. A method for distinguishing between appositional closure and synechial closure. *Arch Ophthalmol* 1966;76:488-92.
 44. Friedman DS. Who needs an iridotomy? *Br J Ophthalmol* 2001;85:1019-21.
 45. Yeung BY, Ng PW, Chiu TY, et al. Prevalence and mechanism of appositional angle closure in acute primary angle closure after iridotomy. *Clin Experiment Ophthalmol* 2005;33: 478-82.
 46. Sun X, Liang YB, Wang NL, Fan SJ, Sun LP, Li SZ, Liu WR. Laser peripheral iridotomy with and without iridoplasty for primary angle-closure glaucoma: 1-year results of a randomized pilot study. *Am J Ophthalmol* 2010;150:68-73.
 47. Lei K, Wang N, Wang L, Wang B. Morphological changes of the anterior segment after laser peripheral iridotomy in primary angle closure. *Eye (Lond)* 2009;23:345-50.
 48. Congdon N, Wang F, Tielsch JM. Issues in the epidemiology and population based screening of primary angle-closure glaucoma. *Surv Ophthalmol*. 1992;36(6):411- 423.
 49. Foster PJ, Buhrmann R, Quigley HA, Johnson GJ. The definition and classification of glaucoma in prevalence surveys. *Br J Ophthalmol* 2002;86:238-42.

-
50. Shields MB, Ritch R, Krupin T. Classifications of the Glaucomas. The glaucomas, Clinical Science. St. Louis: Mosby. 1996.
51. Quigley HA, Broman AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol* 2006;90:262-7.
52. Quigley HA. Number of people with glaucoma worldwide. *Br J Ophthalmol* 1996;80:389-93.
53. Foster PJ, Johnson GJ. Glaucoma in China: how big is the problem? *Br J Ophthalmol*. 2001;85(11):1277-82. Comment in: *Br J Ophthalmol*. 2001;85(11):1271-2.
54. Foster PJ, Baasanhu J, Alsbirk PH, Munkhbayer D, Uranchimeg D, Johnson GJ. Glaucoma in Mongolia. A population-based survey in Hövsgöl province, northern Mongolia. *Arch Ophthalmol*. 1996;114(10):1235-41. Comment in: *Arch Ophthalmol*. 1996;114(10):1251.
55. Shen SY, Wong TY, Foster PJ, et al. The prevalence and types of glaucoma in Malay people: the Singapore Malay eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008;49(9):3846–3851.
56. Wang N, Wu H, Fan Z. Primary angle closure glaucoma in Chinese and Western populations. *Chin Med J* 2002;115:1706-1715.
57. Thylefors B, Negrel AD. The global impact of glaucoma. *Bull World Health Organ* 1994;72:323-6.
58. Wong TY, Chong EW, Wong WL, et al. Prevalence and causes of visual impairment and blindness in an urban Malay Population: the Singapore Malay Eye Study. *Arch Ophthalmol*. 2008;126(8):1091–1099.
59. Leske MC, Connell AM, Schachat AP, Hyman L. The Barbados Eye Study. Prevalence of open angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 1994;112:821-9.
60. Kuzin AA, Varma R, Reddy HS, Torres M, Azen SP; Los Angeles Latino Eye Study Group. Ocular biometry and open angle glaucoma: the Los Angeles Latino Eye Study. *Ophthalmology* 2010;117:1713-1719.
61. Aung T, Friedman DS, Chew PT, et al. Long-term outcomes in asians after acute primary angle closure. *Ophthalmology* 2004;111:1464-9.
62. Alsbirk PH. Primary angle-closure glaucoma. Oculometry, epidemiology and genetics in a high risk population. *Acta Ophthalmol*. 1976;54(127):5–31.
63. Kim YY, Jung HR. Clarifying the nomenclature for primary angle-closure glaucoma. *Surv Ophthalmol*. 1997;42(2):125-36.
64. Primary angle closure glaucoma: Preferred Practice Pattern. In: American Academy of Ophthalmology. San Francisco, The Academy.; 2005.
65. Lowe RF. Etiology of the anatomical basis for primary angle closure glaucoma: biometrical comparisons between normal eyes and eyes with primary angle-closure glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 1970;54(3):161–169.
66. García Sánchez J. Tratamiento quirúrgico. En: Tratamiento del Glaucoma. Madrid. Talleres gráficos Vda. Bermejo, 1979; 209-238.
67. Cairns JE. Trabeculectomy. Preliminary report of a new method. *Am J Ophthalmol* 1968;66:673-679.
68. Godfrey DG, Fellman RL, Neelakantan A. Canal surgery in adult glaucomas. *Curr Opin Ophthalmol* 2009;20:116-121.
69. Johnson DH, Johnson M. How does nonpenetrating glaucoma surgery work? Aqueous outflow resistance and glaucoma surgery. *J Glaucoma* 2001;10:55-67.
70. Johnson DH, Matsumoto Y. Schlemm's canal becomes smaller after successful filtration surgery. *Arch Ophthalmol* 2000;118:1251-1256.
71. Sihota R, Gupta V, Agrawal HC, Pandey RM, Deepak KK. Comparison of symptomatic and asymptomatic, chronic, primary angle. closure glaucoma, open angle glaucoma and controls. *J Glaucoma*. 2000;9(3):208 –213.
72. Alsagoff Z, Aung T, Ang LP, Chew PT. Long-term clinical course of primary angle-closure glaucoma in an Asian population. *Ophthalmology* 2000;107:2300-4.
73. Day AC, Baio G, Gazzard G, et al. The prevalence of primary angle closure glaucoma in European derived populations: a systematic review. *Br J Ophthalmol* 2012;96: 1162–7.

-
74. Sawada A, Sakuma T, Yamamoto T, Kitazawa Y. Appositional angle closure in eyes with narrow angles: comparison between the fellow eyes of acute angle-closure glaucoma and normotensive cases. *J Glaucoma* 1997;6:288–92.
75. Tomlinson A, Leighton DA. Ocular dimensions in the heredity of angle closure glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 1973;57(7):475–486.
76. Friedman DS, Wolfs RC, O'Colmain BJ, et al. Prevalence of open-angle glaucoma among adults in the United States. *Arch Ophthalmol* 2004;122:532–8.
77. Teus M.A. Atlas de gonioscopia en el glaucoma por cierre angular. Madrid; Rigorma gráfica S.A. Allergan S.A. 1999.
78. Congdon NG, Spaeth GL, Augsburger J, Klancnik J Jr, Patel K, Hunter DG. A proposed simple method for measurement in the anterior chamber angle: biometric gonioscopy. *Ophthalmology*. 1999;106(11):2161–7. Comment in: *Ophthalmology*. 2001;108(3):423–5.
79. Pavlin C J, Sherar M D, and Foster F S.: Subsurface ultrasound microscopic imaging of the intact eye. *Ophthalmology*. 1990; 97:244–250.
80. Pavlin CJ, Harasiewicz K, Sherar MD, Foster FS. Clinical use of ultrasound biomicroscopy. *Ophthalmology*. 1991;98(3):287–95.
81. Pavlin C J, Harasiewicz K, and Foster F S.: Ultrasound biomicroscopy of anterior segment structures in normal and glaucomatous eyes. *Am J Ophthalmol*. 1992; 113:381–389.
82. García Feijoo J, Méndez-Hernández C. Biomicroscopia ultrasónica (BMU) en segmento anterior. En: *Métodos diagnósticos en segmento anterior* (Castillo Gómez A, Ed.) Madrid; Sociedad Española de Cirugía Ocular Implanto-Refractiva. 2011; Cap 43; pp: 469–482.
83. Tello C, Liebmann J, Potash SD, Cohen H, Ritch R. Measurement of ultrasound biomicroscopy images: intraobserver and interobserver reliability. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1994;35(9):3549–52.
84. Cho HJ, Woo JM, Yang KJ. Ultrasound biomicroscopic dimensions of the anterior chamber in angle-closure glaucoma patients. *Korean J Ophthalmol* 2002;16:20–5.
85. Yao BQ, Wu LL, Zhang C, Wang X. Ultrasound biomicroscopic features associated with angle closure in fellow eyes of acute primary angle closure after laser iridotomy. *Ophthalmology* 2009;116:444–8.
86. Garudadri CS, Chelkerkar V, Nutheti R. An ultrasound biomicroscopic study of the anterior segment in Indian eyes with primary angle-closure glaucoma. *J Glaucoma* 2002;11:502–7.
87. Hirasawa H, Tomidokoro A, Kunitatsu S, et al. Ultrasound biomicroscopy in narrow peripheral anterior chamber eyes with or without peripheral anterior synechiae. *J Glaucoma* 2009;18:552–6.
88. Dada T, Mohan S, Bali SJ, et al. Ultrasound biomicroscopic assessment of angle parameters in patients with primary angle closure glaucoma undergoing phacoemulsification. *Eur J Ophthalmol* 2011;21:559–65.
89. Sihota R, Dada T, Gupta R, Lakshminarayan P, Pandey RM. Ultrasound biomicroscopy in the subtypes of primary angle closure glaucoma. *J Glaucoma*. 2005;14(5):387–391.
90. Sakuma T, Sawada A, Yamamoto T, Kitazawa Y. Appositional angle closure in eyes with narrow angles: an ultrasound biomicroscopic study. *J Glaucoma* 1997;6:165–9.
91. Matsunaga K, Ito K, Esaki K, et al. Evaluation and comparison of indentation ultrasound biomicroscopy gonioscopy in relative pupillary block, peripheral anterior synechia, and plateau iris configuration. *J Glaucoma* 2004;13:516–9.
92. Matsunaga K, Ito K, Esaki K, et al. Evaluation of eyes with relative pupillary block by indentation ultrasound biomicroscopy gonioscopy. *Am J Ophthalmol* 2004;137:552–4.
93. Diniz Filho A, Cronemberger S, Ferreira DM, et al. Plateau iris configuration in eyes with narrow-angle: an ultrasound biomicroscopic study. *Arq Bras Oftalmol* 2010;73:155–60.
94. Mochizuki H, Takenaka J, Sugimoto Y, et al. Comparison of the prevalence of plateau iris configurations between angle closure glaucoma and open-angle glaucoma using ultrasound biomicroscopy. *J Glaucoma* 2011;20:315–8.

-
95. Yoo C, Oh JH, Kim YY, Jung HR. Peripheral anterior synechiae and ultrasound biomicroscopic parameters in angle closure glaucoma suspects. *Korean J Ophthalmol* 2007;21: 106–10.
96. Kaushik S, Kumar S, Jain R, et al. Ultrasound biomicroscopic quantification of the change in anterior chamber angle following laser peripheral iridotomy in early chronic primary angle closure glaucoma. *Eye (Lond)* 2007;21:735–41.
97. Mansouri K, Burgener ND, Bagnoud M, Shaarawy T. A prospective ultrasound biomicroscopy evaluation of changes in anterior segment morphology following laser iridotomy in European eyes. *Eye (Lond)* 2009;23:2046–51.
98. Gazzard G, Friedman DS, Devereux JG, et al. A prospective ultrasound biomicroscopy evaluation of changes in anterior segment morphology after laser iridotomy in Asian eyes. *Ophthalmology* 2003;110:630–8.
99. He M, Friedman DS, Ge J, Huang W, Jin C, Cai X, Khaw PT, Foster PJ. Laser peripheral iridotomy in eyes with narrow drainage angles: ultrasound biomicroscopy outcomes. The Liwan Eye Study. *Ophthalmology* 2007;114:1513-1519.
100. Ramani KK, Mani B, George RJ, Lingam V. Follow-up of primary angle closure suspects after laser peripheral iridotomy using ultrasound biomicroscopy and A-scan biometry for a period of 2 years. *J Glaucoma* 2009;18:521–7.
101. Sakata LM, Sakata K, Susanna R Jr, et al. Long ciliary processes with no ciliary sulcus and appositional angle closure assessed by ultrasound biomicroscopy. *J Glaucoma* 2006;15: 371–9.
102. Marchini G, Pagliaruso A, Toscano A, Tosi R, Brunelli C, Bonomi L. Ultrasound biomicroscopic and conventional ultrasonographic study of ocular dimensions in primary angle-closure glaucoma. *Ophthalmology* 1998;105:2091-2098.
103. Kashiwagi K, Abe K, Tsukahara S. Quantitative evaluation of changes in anterior segment biometry by peripheral laser iridotomy using newly developed scanning peripheral anterior chamber depth analyser. *Br J Ophthalmol.* 2004;88(8):1036-41.
104. Kashiwagi K, Kashiwagi F, Hiejima Y, Tsukahara S. Finding cases of angle-closure glaucoma in clinic setting using a newly developed instrument. *Eye (Lond).* 2006;20(3):319-24.
105. Kashiwagi K, Kashiwagi F, Toda Y, et al. A newly developed peripheral anterior chamber depth analysis system: principle, accuracy, and reproducibility. *Br J Ophthalmol* 2004;88: 1030–5.
106. Kashiwagi K, Shinbayashi E, Tsukahara S. Development of a fully automated peripheral anterior chamber depth analyzer and evaluation of its accuracy. *J Glaucoma* 2006;15:388–93.
107. Kashiwagi K, Tsukahara S. Case finding of angle closure glaucoma in public health examination with scanning peripheral anterior chamber depth analyzer. *J Glaucoma* 2007;16: 589–93.
108. Kashiwagi K, Tsumura T, Tsukahara S. Comparison between newly developed scanning peripheral anterior chamber depth analyzer and conventional methods of evaluating anterior chamber configuration. *J Glaucoma* 2006;15:380–7.
109. Baskaran M, Oen FT, Chan YH, et al. Comparison of the scanning peripheral anterior chamber depth analyzer and the modified van Herick grading system in the assessment of angle closure. *Ophthalmology* 2007;114:501–6.
110. Arias Puente A, Martínez García P. Topografía de elevación con Pentacam®: Principios y aplicaciones clínicas de la cámara de Scheimplug. En: *Métodos diagnósticos en segmento anterior* (Castillo Gómez A, Ed.) Madrid; Sociedad Española de Cirugía Ocular Implanto-Refractiva. 2011; Cap 18; pp: 197-210.
111. Oculus. Pentacam Instruction Manual: Measurement and Evaluation System for the Anterior Eye Segment. Oculus:Wetzlar, Germany, 2008.
112. Rabsilber TM, Khoramnia R, Auffarth GU. Anterior chamber measurements using Pentacam rotating Scheimplug camera. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32(3):456-9.
113. Allouch C, Touzeau O, Borderie V, Puech M, Ameline B, Scheer S, Laroche L. Orbscan: a new device for iridocorneal angle measurement. *J Fr Ophtalmol.* 2002;25(8):799-806.

114. Chen D, Lam AK. Reliability and repeatability of the Pentacam on corneal curvatures. *Clin Exp Optom* 2009; 92: 110–118.
115. Lackner B, Schmidinger G, Skorpik C. Validity and repeatability of anterior chamber depth measurements with Pentacam and Orbscan. *Optom Vis Sci*. 2005;82(9):858-61.
116. Shankar H, Taranath D, Santhirathelagan CT, Pesudovs K. Anterior segment biometry with the Pentacam: comprehensive assessment of repeatability of automated measurements. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34: 103–113.
117. McAlinden C, Khadka J, Pesudovs K. A comprehensive evaluation of the precision (repeatability and reproducibility) of the Oculus Pentacam HR. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011; 52: 7731–7737.
118. Meinhardt B, Stachs O, Stave J, Beck R, Guthoff R. Evaluation of biometric methods for measuring the anterior chamber depth in the non-contact mode. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2006 May;244(5):559-64.
119. Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991, vol. 254, pp.1178-1181.
120. Izatt J A, Hee M R, and Swanson E A, et al.: Micrometer-scale resolution imaging of the anterior eye in vivo with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol*.1994; 112:1584-1589.
121. Itzkan I and Izatt J A.: Optimal interferometer designs for optical coherence tomography. *Opt Lett*.1999; 24:1484-1486.
122. Hee M R, Izatt J A, and Swanson E A, et al.: Optical coherence tomography of the human retina. *Arch Ophthalmol*. 1995; 113:325-332.
123. Hoerauf H, Wirbelauer C, Scholz C, Engelhardt R, Koch P, Laqua H, Birngruber R. Slit-lamp-adapted optical coherence tomography of the anterior segment. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2000;238(1):8-18.
124. Wirbelauer C, Karandish A, Haberle H, and Pham D T.: Non contact gonimetry with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol*.2005; 123:171-185.
125. Radhakrishnan S, Rollins A M, and Roth J E, et al.: Real-time optical coherence tomography of the anterior segment at 1310 nm. *Arch Ophthalmol*.2001; 119:1179-1185.
126. Koop N, Brinkman R, Lankenau E, Flache S, Engelhardt R, and Birngruber R.: Optical coherence tomography of the cornea and the anterior eye segment. *Ophthalmologe*.1997; 94:481-486.
127. Thomas R. Anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2007; 114: 2362–2363.
128. F. Memarzadeh, S. Mahdaviani, and Y. Li, “Interpretation of angle images,” in *Imaging the Eye from Front to Back with RTVue Fourier-Domain Optical Coherence Tomography*, D. Huang, J. Duker, B. Lumbroso et al., Eds., SLACK, 1st edition, 2010.
129. Memarzadeh F, Mahdaviani S. “Imaging the anterior chamber angle,” in *Cornea and Anterior Segment*, D. Huang, Ed., vol. 2 of RTVue Fourier-Domain Optical Coherence Tomography Primer Series, Optovue, Fremont, CA, USA, 2009.
130. Fénolland JR, Puech M, Baudouin C, Labbé A. Imaging of the iridocorneal angle in glaucoma. *J Fr Ophtalmol*. 2013 Apr;36(4):378-83.
131. Nadal E, Bhartiya S, Shaarawy T. OCT-SA en el estudio del ángulo camerular. En: *Tomografía de coherencia óptica* (Muñoz Negrete FJ, Rebolleda G, Díaz Llopis M, Eds.) Madrid; Sociedad Española de Oftalmología. 2011; Cap 9.1; pp: 187-192.
132. Friedman DS, He M. Anterior chamber angle assessment techniques. *Surv Ophthalmol* 2007; 53: 250–273.
133. Heur M, Dupps WJ Jr. Anterior segment imaging. In: Kohnen T, Koch DD, eds. *Cataract and Refractive Surgery*. 3rd ed. Berlin: Springer; 2009:1–10. *Essentials in Ophthalmology*. Kriegelstein GK, Weinreb RN, series eds.
134. Luiz Branco R, Yan L, David H. Clinical and research applications of anterior segment optical coherence tomography; a review. *Clin Experiment Ophthalmol* 2009; 37:81–89.

-
135. Steinert R, Huang D. Anterior segment optical coherence tomography. Slack Incorporated. 2008. 1st edition.
136. Swanson E A, Izatt J A, and Hee M R, et al.: In vivo retinal imaging by optical coherence tomography. *Opt Lett*. 1993; 21:1864-1866.
137. Muñoz Negrete FJ, Ruiz Casas D, Losada Bayo D, Almendral Gómez A. Características diferenciales de las tecnologías OCT disponibles. En: Tomografía de coherencia óptica (Muñoz Negrete FJ, Rebolleda G, Díaz Llopis M, Eds.) Madrid; Sociedad Española de Oftalmología. 2011; Cap 3.1; pp: 61-62.
138. Fernández-Vigo J, Almorín I, Macarro A. RTVue Fourier Domain OCT. Modelo: RT 100 (Optovue). En: Tomografía de coherencia óptica (Muñoz Negrete FJ, Rebolleda G, Díaz Llopis M, Eds.) Madrid; Sociedad Española de Oftalmología. 2011; Cap 3.7; pp: 92-99.
139. Sarunic MV, Asrani S, Izatt JA. Imaging the ocular anterior segment with realtime, full-range Fourier-domain optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 2008;126:537-542.
140. Leitgeb R., Hitzenberger C., Fercher A. "Performance of fourier domain vs. time domain optical coherence tomography," *Optics Express*, vol. 11, no. 8, pp. 889–894, 2003.
141. Radcliffe N., Kiss S. "The expanding role of SD OCT in practice," *Ophthalmology Management*, vol. 15, no. 7, pp. 24– 32, 2011.
142. Nonaka A, Iwawaki T, Kikuchi M, et al. Quantitative evaluation of iris convexity in primary angle closure. *Am J Ophthalmol* 2007;143:695–7.
143. Piñero DP, Plaza Puche AB, Alió JL. Corneal diameter measurements by corneal topography and angle-to-angle measurements by optical coherence tomography: Evaluation of equivalence. *J Cataract Refract Surg* 2007; 34: 126–131.
144. Baek S, Sung KR, Sun JH, Lee JR, Lee KS, Kim CY, Shon K. A hierarchical cluster analysis of primary angle closure classification using anterior segment optical coherence tomography parameters. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013 Jan 30;54(1):848-53.
145. Nongpiur ME, Gong T, Lee HK, Perera SA, Cheng L, Foo LL, He M, Friedman DS, Aung T. Subgrouping of Primary Angle-Closure Suspects Based on Anterior Segment Optical Coherence Tomography Parameters. *Ophthalmology*. 2013 Aug 2. pii: S0161-6420(13)00484-3.
146. Narayanaswamy A, Sakata LM, He MG, et al. Diagnostic performance of anterior chamber angle measurements for detecting eyes with narrow angles: an anterior segment OCT study. *Arch Ophthalmol* 2010;128:1321–7.
147. Pekmezci M, Porco TC, Lin SC. Anterior segment optical coherence tomography as a screening tool for the assessment of the anterior segment angle. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2009;40:389–98.
148. Orduña Domingo E. Evaluación del ángulo de la cámara anterior mediante OCT. En: Métodos diagnósticos en segmento anterior (Castillo Gómez A, Ed.) Madrid; Sociedad Española de Cirugía Ocular Implanto-Refractiva. 2011; Cap 41; pp: 453-459.
149. Friedman DS, Gazzard G, Foster P, Devereux J, Broman A, Quigley H, et al. Ultrasonographic biomicroscopy, Scheimpflug photography, and novel provocative tests in contralateral eyes of Chinese patients initially seen with acute angle closure. *Arch Ophthalmol*. 2003;121(5):633-42.
150. Mansouri K, Sommerhalder J, Shaarawy T. Prospective comparison of ultrasound biomicroscopy and anterior segment optical coherence tomography for evaluation of anterior chamber dimensions in European eyes with primary angle closure. *Eye (Lond)* 2010;24:233–9.
151. Cheung CY, Zheng C, Ho CL. Novel anterior-chamber angle measurements by high-definition optical coherence tomography using the Schwalbe line as the landmark. *Br J Ophthalmol*. 2011. 95(7): 955-959.
152. Qin B., Francis B.A., Li Y. et al., "Anterior chamber angle measurements using Schwalbe's line with high resolution fourier domain optical coherence tomography," *J Glaucoma*. 2013 Dec;22(9):684-8.
153. Sakata LM, Lavanya R, Friedman DS, et al. Comparison of gonioscopy and anterior segment ocular coherence tomography in detecting angle closure in different quadrants of the anterior chamber angle. *Ophthalmology* 2008;115:769–74.

-
154. Sakata LM, Wong TT, Wong HT, et al. Comparison of Visante and slit-lamp anterior segment optical coherence tomography in imaging the anterior chamber angle. *Eye (Lond)* 2010;24:578–87.
155. Leung CK, Weinreb RN. Anterior chamber angle imaging with optical coherence tomography. *Eye (Lond)*. 2011 Mar;25(3):261–7.
156. Wong HT, Lim MC, Sakata LM, et al. High-definition optical coherence tomography imaging of the iridocorneal angle of the eye. *Arch Ophthalmol* 2009;127:256–60.
157. Wylegala E, Teper S, Nowińska AK. Anterior segment imaging: Fourier-domain optical coherence tomography versus time-domain optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg*. 2009. 35(8): 1410–1414.
158. Bald M, Li Y, Huang D. Anterior chamber angle evaluation with fourier-domain optical coherence tomography. *J Ophthalmol*. 2012;2012:103704.
159. Potsaid B, Baumann B, Huang D, Barry S, Cable AE, Schuman JS et al. Ultrahigh speed 1050nm swept source/fourier domain OCT retinal and anterior segment imaging at 100,000 to 400,000 axial scans per second. *Opt Express* 2010; 18: 20029–20048.
160. Radhakrishnan S, Goldsmith J, and Westphal V, et al.: Comparison of coherence tomography and ultrasound biomicroscopy for detection of narrow anterior chamber angles. *Arch Ophthalmol*. 2005; 123:1053–1059.
161. Console JW, Sakata LM, Aung T, Friedman DS, He M. Quantitative analysis of anterior segment optical coherence tomography images: the Zhongshan Angle Assessment Program. *Br J Ophthalmol*. 2008;92(12):1612–1616.
162. Eleftheriadis H. IOLMaster biometry: refractive results of 100 consecutive cases. *Br J Ophthalmol* 2003; 87: 960–963.
163. Hoffer KJ, Shammas HJ, Savini G. Comparison of 2 laser instruments for measuring axial length. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36: 644–648.
164. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33(1):159–74.
165. Robinson KA, Dickersin K. Development of a highly sensitive search strategy for the retrieval of reports of controlled trials using PubMed. *Int J Epidemiol* 2002;31:150–3.
166. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1(8476):307–10.
167. Zhang HT, Xu L, Cao WF, et al. Anterior segment optical coherence tomography of acute primary angle closure. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2010;248:825–31.
168. Nolan WP, See JL, Chew PT, Friedman DS, Smith SD, Radhakrishnan S, et al. Detection of primary angle closure using anterior segment optical coherence tomography in Asian eyes. *Ophthalmology*. 2007;114(1):33–9.
169. Barkana Y, Dorairaj SK, Gerber Y, et al. Agreement between gonioscopy and ultrasound biomicroscopy in detecting iridotrabecular apposition. *Arch Ophthalmol* 2007;125:1331–5.
170. Boker T, Sheqem J, Rauwolf M, and Wegener A.: Anterior chamber angle biometry: a comparison of Scheimpflug photography and ultrasound biomicroscopy. *Ophthalmic Res*. 1995; 27:104–109.
171. Dada T, Sihota R, Gadia R, et al. Comparison of anterior segment optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy for assessment of the anterior segment. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:837–40.
172. Friedman DS, Gazzard G, Min CB, et al. Age and sex variation in angle findings among normal Chinese subjects: a comparison of UBM, Scheimpflug, and gonioscopic assessment of the anterior chamber angle. *J Glaucoma* 2008;17:5–10.
173. Jurkunas UV, Colby K. Corneal examination, specular and confocal microscopy, UBM, OCT. In: Albert DM, Miller JW, Azar DT, Blodi BA, eds. *Albert & Jakobiec's Principles & Practice of Ophthalmology*. Vol. 1. 3rd ed. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders; 2008:491.

-
174. Kaushik S, Jain R, Pandav SS, Gupta A. Evaluation of the anterior chamber angle in Asian Indian eyes by ultrasound biomicroscopy and gonioscopy. *Indian J Ophthalmol* 2006;54: 159–63.
175. Riley SF, Nairn JP, Maestre FA, Smith TJ. Analysis of the anterior chamber angle by gonioscopy and by ultrasound biomicroscopy. *Int Ophthalmol Clin.* 1994; 34(3):271-82. Review.
176. Schottenstein EM. Intraocular Pressure and Tonometry. In: Ritch R, Shields MB & Krupin T (ed). *The glaucomas, Clinical Science.* St. Louis: Mosby; 1996;887-899.
177. Sánchez-Tocino H, Bringas-Calvo R, Iglesias-Cortiñas D. Estudio comparativo entre el neumotonómetro de no contacto Canon TX-10 y el tonómetro de Goldmann. *Arch Soc Esp Oftalmol.* 2005 Nov;80(11):643-9.
178. Grewal DS, Brar GS, Jain R, Grewal SP. Comparison of Scheimpflug imaging and spectral domain anterior segment optical coherence tomography for detection of narrow anterior chamber angles. *Eye (Lond).* 2011 May;25(5):603-11.
179. Gros-Otero J, Arruabarrena-Sánchez C, Teus M. Central corneal thickness in a healthy Spanish population. *Arch Soc Esp Oftalmol.* 2011 Mar;86(3):73-6.
180. Sánchez-García M, Rodríguez de la Vega R, González-Hernández M, González de la Rosa M. Variability and reproducibility of 3 methods for measuring the thickness of the nerve fiber layer. *Arch Soc Esp Oftalmol.* 2013 Oct;88(10):393-7.
181. Radhakrishnan S, See J, Smith SD, et al. Reproducibility of Anterior Chamber Angle Measurements Obtained with Anterior Segment Optical Coherence Tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2007, vol. 48, núm. 3, pp. 3683-3688.
182. Tun TA, Baskaran M, Zheng C, Sakata LM, Perera SA, Chan AS, Friedman DS, Cheung CY, Aung T. Assessment of trabecular meshwork width using swept source optical coherence tomography. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2013 Jun;251(6):1587-92.
183. Tan AN, Sauren LD, de Brabander J, Berendschot TT, Lima Passos V, Webers CA et al. Reproducibility of anterior chamber angle measurements with anterior segment optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011 Apr 4;52(5):2095-9.
184. Leung CKS, Li H, Weinreb RN, et al. Anterior Chamber Angle Measurement with Anterior Segment Optical Coherence Tomography: A Comparison between Slit Lamp OCT and Visante OCT. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008, vol. 49, núm. 8, pp. 3469-3474.
185. Liu S, Yu M, Ye C, Lam DS, Leung CK. Anterior chamber angle imaging with swept-source optical coherence tomography: an investigation on variability of angle measurement. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011, 52(12): 8598-8603.
186. Li H, Leung CK, Cheung CY, Wong L, Pang CP, Weinreb RN et al. Repeatability and reproducibility of anterior chamber angle measurement with anterior segment optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol* 2007; 91: 1490–1492.
187. Müller M, Dahmen G, Pörksen E, Geerling G, Laqua H, Ziegler A et al. Anterior chamber angle measurement with optical coherence tomography: intraobserver and interobserver variability. *J Cataract Refract Surg* 2006; 32:1803–1808.
188. Muscat S, McKay N, Parks S, Kemp E, and Keating D.: Repeatability and reproducibility of corneal thickness measurements by optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2002; 43:1791-1795.
189. Choma M., Sarunic M, Yang C., and Izatt J. "Sensitivity advantage of swept source and Fourier domain optical coherence tomography," *Optics Express*, vol. 11, no. 18, pp. 2183– 2189, 2003.
190. Wong HT, Lim MC, Sakata LM, et al. High-definition optical coherence tomography imaging of the iridocorneal angle of the eye. *Arch Ophthalmol* 2009;127:256–60.
191. Perera SA, Ho CL, Aung T, Baskaran M, Ho H, Tun TA, Lee TL, Kumar RS. Imaging of the iridocorneal angle with the RTVue spectral domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012 Apr 2;53(4):1710-3.

-
192. Quek DT, Narayanaswamy AK, Tun TA, Htoon HM, Baskaran M, Perera SA, Aung T. Comparison of two spectral domain optical coherence tomography devices for angle-closure assessment. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 Aug 3;53(9):5131-6.
193. Liu L. Anatomical changes of the anterior chamber angle with anterior-segment optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 2008;126:1682–6.
194. Xu L, Cao WF, Wang YX, Chen CX, Jonas JB. Anterior chamber depth and chamber angle and their associations with ocular and general parameters: The Beijing Eye Study. *Am J Ophthalmol*. 2008;145(5):929–936.
195. Amerasinghe N, Foster PJ., Yin Wong T. Variation of Angle Parameters in Asians: An Anterior Segment Optical Coherence Tomography Study in a Population of Singapore Malays. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2009, Vol. 50, No. 6: 2626-31.
196. Ramani KK, Mani B, Ronnie G, Joseph R, Lingham V. Gender variation in ocular biometry and ultrasound biomicroscopy of primary angle closure suspects and normal eyes. *J Glaucoma*. 2007;16(1):122–128.
197. Sihota R, Lakshmaiah NC, Agrawal HC, Pandey RM, Titiyal JS. Ocular parameters in the subgroups of angle closure glaucoma. *Clin Exp Ophthalmol*. 2000;28(4):253–258.
198. Lee DA, Brubaker RF, Illstrup DM. Anterior chamber dimensions in patients with narrow angles and angle closure glaucoma. *Arch Ophthalmol*. 1984;102(1):46–50.
199. George R, Paul PG, Baskaran M, et al. Ocular biometry in occludable angles and angle closure glaucoma: a population based survey. *Br J Ophthalmol*. 2003;87(4):399–402.
200. Cheon MH, Sung KR, Choi EH, et al. Effect of age on anterior chamber angle configuration in Asians determined by anterior segment optical coherence tomography; clinic-based study. *Acta Ophthalmol* 2010;88:e205–10.
201. Sun JH, Sung KR, Yun SC. Factors associated with anterior chamber narrowing with age: an optical coherence tomography study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012; 53(6): 2607-2610.
202. Perera SA, Wong TY, Tay WT, Foster PJ, Saw SM, Aung T. Refractive error, axial dimensions, and primary open-angle glaucoma: the Singapore Malay Eye Study. *Arch Ophthalmol* 2010;128(7):900-905.
203. Tomoyose E, Higa A, Sakai H, Sawaguchi S, Iwase A, Tomidokoro A, Amano S, Araie M. Intraocular pressure and related systemic and ocular biometric factors in a population-based study in Japan: the Kumejima study. *Am J Ophthalmol* 2010;150:279-286.
204. Chong RS, Sakata LM, Narayanaswamy AK, Ho SW, He M, Baskaran M, Wong TY, Perera SA, Aung T. Relationship between intraocular pressure and angle configuration: an anterior segment OCT study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013 Mar 5;54(3):1650-5.
205. Nongpiur ME, Sakata LM, Friedman DS, et al. Novel association of smaller anterior chamber width with angle closure in Singaporeans. *Ophthalmology* 2010;117:1967–73.
206. Panek WC, Christensen RE, Lee DA, Fazio DT, Fox LE, Scott TV. Biometric variables in patients with occludable anterior chamber angles. *Am J Ophthalmol*. 1990;110(2):185–188.
207. Saxena S, Agrawal PK, Pratap VB, Nath R. Anterior chamber depth and lens thickness in primary angle closure glaucoma: a case control study. *Indian J Ophthalmology*. 1993;41(2):71–73.
208. Tornquist R. Chamber depth in primary acute glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 1956;40(7):421–429.
209. Mak H, Xu G, Leung CK. Imaging the Iris with Swept-Source Optical Coherence Tomography: Relationship between Iris Volume and Primary Angle Closure. *Ophthalmology*. 2013 Jul 10. pii: S0161-6420(13)00418-1.
210. Wang B, Sakata LM, Friedman DS, Chan YH, HeM, Lavanya R et al. Quantitative iris parameters and association with narrow angles. *Ophthalmology* 2010; 117: 11–17
211. Wang BS, Narayanaswamy A, Amerasinghe N, Zheng C, He M, Chan YH et al. Increased iris thickness and association with primary angle closure glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2010; 95(1): 46–50.

-
212. Hirose F, Hata M, Ito SI, Matsuki T, Kurimoto Y. Light-dark changes in iris thickness and anterior chamber angle width in eyes with occludable angles. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2013 Oct;251(10):2395-402.
213. Leung CK, Cheung CY, Li H, et al. Dynamic analysis of dark-light changes of the anterior chamber angle with anterior segment OCT. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007;48: 4116–22.
214. Radhakrishnan S, See J, and Chew P T, et al.: Illumination induced changes in the angle configuration: an evaluation by anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmol Clin North Am*. 2005 Sep;18(3):375-81.
215. Wang B, Congdon NG, Wang N, et al. Dark room provocative test and extent of angle closure: an anterior segment OCT study. *J Glaucoma* 2010;19:183–7.
216. Aptel F, Denis P. Optical coherence tomography quantitative analysis of iris volume changes after pharmacologic mydriasis. *Ophthalmology* 2010;117:3–10.
217. Quigley HA, Silver DM, Friedman DS, et al. Iris crosssectional area decreases with pupil dilation and its dynamic behavior is a risk factor in angle closure. *J Glaucoma* 2009;18: 173–9.
218. Lavanya R, Wong TY, Friedman DS, et al. Determinants of angle closure in elderly Singaporeans. *Arch Ophthalmol*. 2008;126(5): 686–691.
219. Leung CK, Palmiero PM, Weinreb RN, Li H, Sbeity Z, Dorairaj S, Leung D, Liu S, Liebmann JM, Congdon N, Lam DS, Ritch R. Comparisons of anterior segment biometry between Chinese and Caucasians using anterior segment optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol*. 2010 Sep;94(9):1184-9.
220. Foo LL, Nongpiur ME, Allen JC, Perera SA, Friedman DS, He M, Cheng CY, Wong TY, Aung T. Determinants of angle width in Chinese Singaporeans. *Ophthalmology*. 2012 Feb;119(2):278-82.
221. Ahmadi Hosseini SM, Abolbashari F, Mohidin N. Anterior segment parameters in Indian young adults using the Pentacam. *Int Ophthalmol*. 2013 Dec;33(6):621-6.
222. Alonso, Ruiz Simonato et al. Glaucoma anterior chamber morphometry based on optical Scheimpflug images. *Arq. Bras. Oftalmol*. 2010, vol.73, n.6, pp. 497-500.
223. Pakravan M, Sharifipour F, Yazdani S, Koohestani N, Yaseri M. Scheimpflug imaging criteria for identifying eyes at high risk of acute angle closure. *J Ophthalmic Vis Res*. 2012 Apr;7(2):111-7.
224. Li S, Wang H, Mu D, et al. Prospective evaluation of changes in anterior segment morphology after laser iridotomy in Chinese eyes by rotating Scheimpflug camera imaging. *Clin Experiment Ophthalmol* 2010;38:10–4.
225. Lavanya R, Foster PJ, Sakata LM, et al. Screening for narrow angles in the Singapore population: evaluation of new noncontact screening methods. *Ophthalmology* 2008;115:1720–7.
226. Rossi GC, Scudeller L, Delfino A, Raimondi M, Pezzotta S, Maccarone M, Antoniazzi E, Pasinetti GM, Bianchi PE. Pentacam sensitivity and specificity in detecting occludable angles. *Eur J Ophthalmol*. 2012 Sep-Oct;22(5):701-8.
227. Kurita N, Mayama C, Tomidokoro A, Aihara M, Araie M. Potential of the pentacam in screening for primary angle closure and primary angle closure suspect. *J Glaucoma*. 2009 Sep;18(7):506-12.
228. Koç M, Özüken K, Ayar O, Karakurt A. Measurement of the anterior chamber angle according to quadrants and age groups using Pentacam Scheimpflug camera. *J Glaucoma*. 2013 Mar;22(3):226-9.
229. Antoniazzi E, Pezzotta S, Delfino A, Bianchi PE. Anterior chamber measurements taken with Pentacam: an objective tool in laser iridotomy. *Eur J Ophthalmol* 2010;20:517–22.
230. Dinc UA, Gorgun E, Oncel B, Yenerel MN, Alimgil L. Assessment of anterior chamber depth using Visante optical coherence tomography, slitlamp optical coherence tomography, IOL Master, Pentacam and Orbscan IIz. *Ophthalmologica*. 2010;224(6):341-6.
231. He M, Huang W, Zheng Y, Alsbirk PH, Foster PJ. Anterior chamber depth in elderly Chinese: The Liwan Eye Study. *Ophthalmology*. 2008;115(8):1286–1290, 1290.e1–2.

-
232. Zhao J, Chen Z, Zhou Z, Ding L, Zhou X. Evaluation of the repeatability of the Lenstar and comparison with two other non-contact biometric devices in myopes. *Clin Exp Optom*. 2013 Jan;96(1):92-9.
233. Yazici AT, Bozkurt E, Alagoz C, Alagoz N, Pekel G, Kaya V, Yilmaz OF. "Central corneal thickness, anterior chamber depth, and pupil diameter measurements using Visante OCT, Orbscan, and Pentacam". *J Refract Surg*. 2010 Feb;26(2):127-33.
234. Tomohiko U, Tomidokoro A, Mishima K. Identification of Schlemm's Canal and Its Surrounding Tissues by Anterior Segment Fourier Domain OCT. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011, 1; 52(9): 6934-6939
235. Dietlein T S, Jacobi PC, Lüke C. Morphological variability of the trabecular meshwork in glaucoma patients: implications for non-perforating glaucoma surgery. *Br J Ophthalmol* 2000; 84: 1354-1359.
236. Asrani S, Sarunic M, Santiago C et al. Detailed visualization of the anterior segment using fourier-domain optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol*. 2008; 126(6): 765-71.
237. Orta Arellano F, Muñoz Rodríguez P. Variaciones normales en los parámetros del ángulo de la cámara anterior en Mexicanos. Un estudio de OCT en una población del occidente de México. 2009. *Rev Mex Oftalmol*. 83: 255-260.
238. Huang G, Gonzalez E, Lee R, Chen YC, He M, Lin SC. Association of biometric factors with anterior chamber angle widening and intraocular pressure reduction after uneventful phacoemulsification for cataract. *J Cataract Refract Surg*. 2012 Jan;38(1):108-16.
239. Tai MC, Chien KH, Lu DW, Chen JT. Angle changes before and after cataract surgery assessed by Fourier-domain anterior segment optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36: 1758–1762.
240. Yang CH, Hung PT. Intraocular lens position and anterior chamber angle changes after cataract extraction in eyes with primary angle-closure glaucoma. *J Cataract Refract Surg* 1997;23:1109–13.
241. Memarzadeh F, Tang M, Li Y, Chopra V, Francis BA, Huang D. Optical coherence tomography assessment of angle anatomy changes after cataract surgery. *Am J Ophthalmol* 2007;144:464-465.
242. Nonaka A, Kondo T, Kikuchi M, et al. Angle widening and alteration of ciliary process configuration after cataract surgery for primary angle closure. *Ophthalmology* 2006;113: 437–41.
243. Kucumen RB, Yenerel NM, Gorgun E, Kulacoglu DN, Dinc UA, Alimgil ML. Anterior segment optical coherence tomography measurement of anterior chamber depth and angle changes after phacoemulsification and intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34: 1694–1698.
244. Kim DY, Sung KR, Kang SY, Cho JW, Lee KS, Park SB, Kim ST, Kook MS. Characteristics and reproducibility of anterior chamber angle assessment by anterior-segment optical coherence tomography. *Acta Ophthalmol*. 2011 Aug;89(5):435-41.
245. Furuya T, Mabuchi F, Chiba T, Kogure S, Tsukahara S, Kashiwagi K. Comparison of the anterior ocular segment measurements using swept-source optical coherent tomography and a scanning peripheral anterior chamber depth analyzer. *Jpn J Ophthalmol*. 2011 Sep;55(5):472-9.
246. Memarzadeh F, Li Y, Chopra V, et al. Anterior segment optical coherence tomography for imaging the anterior chamber after laser peripheral iridotomy. *Am J Ophthalmol* 2007;143:877–9.
247. Ang GS, Wells AP. Changes in Caucasian eyes after laser peripheral iridotomy: an anterior segment optical coherence tomography study. *Clin Experiment Ophthalmol* 2010;38: 778–85.
248. Chalita M R and Li: Y,Patil C, et al.: High-speed optical coherence tomography of laser iridotomy. *Am J Ophthalmol*.2005; 140:1133-1136.
249. See JL, Chew PT, Smith SD, et al. Changes in anterior segment morphology in response to illumination and after laser iridotomy in Asian eyes: an anterior segment OCT study. *Br J Ophthalmol* 2007;91:1485–9.
250. Su DH, Friedman DS, See JL, et al. Degree of angle closure and extent of peripheral anterior synechiae: an anterior segment OCT study. *Br J Ophthalmol* 2008;92:103–7.

-
251. Mishima K, Tomidokoro A, Suramethakul P, Mataki N, Kurita N, Mayama C, Araie M. Iridotrabecular contact observed using anterior segment three-dimensional OCT in eyes with a shallow peripheral anterior chamber. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013 Jul 10;54(7):4628-35.
252. Lai I, Mak H, Lai G, Yu M, Lam DS, Leung CK. Anterior chamber angle imaging with swept-source optical coherence tomography: measuring peripheral anterior synechia in glaucoma. *Ophthalmology*. 2013 Jun;120(6):1144-9.
253. Nongpiur ME, He M, Amerasinghe N, et al. Lens vault, thickness, and position in Chinese subjects with angle closure. *Ophthalmology* 2011;118:474–9.
254. Lim MCC, Lim LS, Gazzard G, et al. Lens opacity, thickness, and position in subjects with acute primary angle closure. *J Glaucoma*. 2006;15(3):260–263.

ANEXOS

ANEXO 1: Tablas de correlación para el total de ojos, y estratificadas por OD y OI.

CORRELACIÓN DE LA <u>ABERTURA ANGULAR</u> MEDIDA CON OCT CON:			
PARÁMETRO	CORRELACIÓN CON EL TOTAL DE OJOS	CORRELACIÓN OD	CORRELACIÓN OI
Edad	-0,487 (<0,0001)	-0,479 (<0,0001)	-0,496 (<0,0001)
PIO	-0,036 (0,119)	-0,020 (0,538)	-0,052 (0,104)
Prof. C.A (Pentacam)	0,811 (<0,0001)	0,807 (<0,0001)	0,818 (<0,0001)
Abertura angular temporal (Pentacam)	0,458 (<0,0001)	0,445 (<0,0001)	0,475 (<0,0001)
Abertura angular nasal (Pentacam)	0,655 (<0,0001)	0,661 (<0,0001)	0,649 (<0,0001)
Paquimetría	0,078 (<0,001)	-0,063 (<0,0001)	-0,095 (<0,0001)
Volumen C.A	0,840 (<0,0001)	0,834 (<0,0001)	0,848 (<0,0001)
Diámetro pupilar (Pentacam)	0,182 (<0,0001)	0,185 (<0,0001)	0,179 (<0,0001)
Prof. C.A (IOL Master)	0,809 (<0,0001)	0,805 (<0,0001)	0,814 (<0,0001)
Blanco-Blanco	0,239 (<0,0001)	0,212 (<0,0001)	0,269 (<0,0001)
Longitud axial	0,592 (<0,0001)	0,585 (<0,0001)	0,599 (<0,0001)
Diámetro pupilar (IOL Master)	0,195 (<0,0001)	0,187 (<0,0001)	0,204 (<0,0001)
Defecto refractivo esférico	-0,619 (<0,0001)	-0,610 (<0,0001)	-0,629 (<0,0001)
Equivalente esférico	-0,622 (<0,0001)	-0,682 (<0,0001)	-0,632 (<0,0001)
Longitud M.T	0,051 (0,029)	0,021(0,530)	0,090 (0,006)
Grosor M.T	0,100 (0,0001)	0,119 (<0,0001)	0,081 (0,014)
Área M.T	0,052 (0,028)	0,051 (0,123)	0,096 (0,003)
AOD	0,929 (<0,0001)	0,932 (<0,0001)	0,926 (<0,0001)
TISA	0,873 (<0,0001)	0,868 (<0,0001)	0,880 (<0,0001)
DIM	0,905 (<0,0001)	0,905 (<0,0001)	0,904 (<0,0001)
Área pretrabecular	0,789 (<0,0001)	0,778 (<0,0001)	0,801 (<0,0001)
Grosor del iris	0,139 (<0,0001)	0,129 (<0,0001)	0,151 (<0,0001)

Tabla 45: Resultados de la correlación de la abertura angular para el total de ojos (incluye ojos derechos e izquierdos), y estratificada sólo por ojos derechos y sólo por ojos izquierdos.

CORRELACIÓN DE LA LONGITUD DE LA MALLA TRABECULAR CON:			
Parámetro	CORRELACIÓN TOTAL DE OJOS	CORRELACIÓN OD	CORRELACIÓN OI
Abertura angular OCT	0,051 (0,029)	0,021 (0,530)	0,090 (0,006)
Profundidad C. A. Pentacam	0,084 (<0,0001)	0,044 (0,194)	0,133 (0,0001)
Profundidad C.A. IOL Master	0,089 (<0,0001)	0,057 (0,087)	0,132 (<0,0001)
Longitud axial	0,065 (0,006)	0,036 (0,281)	0,100 (0,003)
Defecto refractivo esférico	-0,086 (<0,0001)	-0,062 (0,065)	-0,109 (0,001)
Edad	-0,056 (0,017)	-0,050 (0,133)	-0,065 (0,051)
PIO	0,027 (0,251)	0,011 (0,747)	0,047 (0,163)
Paquimetría	-0,022 (0,361)	-0,032 (0,347)	-0,006 (0,865)
Volumen C.A	0,081 (0,001)	0,045 (0,185)	0,126 (<0,0001)
Diámetro pupilar Pentacam	0,026 (0,268)	0,046 (0,170)	-0,011 (0,743)
Diámetro pupilar IOL Master	-0,003 (0,904)	0,027 (0,470)	-0,037 (0,311)
Blanco-blanco	0,01 (0,990)	-0,005 (0,873)	0,100 (0,003)
Grosor M.T	0,397 (<0,0001)	0,403 (<0,0001)	0,421 (<0,0001)
Área M.T	0,769 (<0,0001)	0,769 (<0,0001)	0,781 (<0,0001)
Grosor del iris	0,041 (0,083)	0,001 (0,998)	0,088 (0,007)

Tabla 46: Resultados de la correlación de la longitud de la M.T para el total de ojos (incluye ojos derechos e izquierdos), y estratificada sólo por ojos derechos y sólo por ojos izquierdos.

CORRELACIÓN DEL GROSOR DE LA MALLA TRABECULAR CON:			
Parámetro	CORRELACIÓN TOTAL DE OJOS	CORRELACIÓN OD	CORRELACIÓN OI
Abertura angular OCT	0,100 (<0,0001)	0,119 (<0,0001)	0,081 (0,014)
Profundidad C. A. Pentacam	0,125 (<0,0001)	0,116 (0,001)	0,136 (0,0001)
Profundidad C.A. IOL Master	0,133 (<0,0001)	0,133 (<0,0001)	0,120 (<0,0001)
Longitud axial	0,065 (0,006)	0,116 (<0,0001)	0,107 (0,001)
Defecto refractivo esférico	-0,125 (<0,0001)	-0,127 (<0,0001)	-0,127 (<0,0001)
Edad	-0,049 (0,038)	-0,061 (0,065)	-0,036 (0,281)
PIO	-0,027 (0,253)	-0,010 (0,760)	-0,045 (0,183)
Paquimetría	0,032 (0,177)	0,016 (0,636)	0,043 (0,195)
Volumen C.A	0,090 (<0,0001)	0,087 (0,010)	0,093 (0,005)
Diámetro pupilar Pentacam	0,004 (0,880)	0,032 (0,347)	-0,010 (0,771)
Blanco-blanco	-0,032 (0,182)	-0,020 (0,556)	-0,038 (0,262)
Longitud M.T	0,397 (<0,0001)	0,403 (<0,0001)	0,421 (<0,0001)
Área M.T	0,721 (<0,0001)	0,730 (<0,0001)	0,715 (<0,0001)
Grosor del iris	0,050 (0,031)	0,030 (0,373)	0,075 (0,023)

Tabla 47: Resultados de la correlación del grosor de la M.T para el total de ojos (incluye ojos derechos e izquierdos), y estratificada sólo por ojos derechos y sólo por ojos izquierdos.

CORRELACIÓN DEL ÁREA DE LA MALLA TRABECULAR CON:			
Parámetro	CORRELACIÓN TOTAL DE OJOS	CORRELACIÓN OD	CORRELACIÓN OI
Abertura angular OCT	0,072 (0,002)	0,051 (0,123)	0,096 (0,003)
Profundidad C.A. Pentacam	0,111 (0,001)	0,074 (0,028)	0,152 (0,0001)
Profundidad C.A. IOL Master	0,124 (<0,0001)	0,091 (0,006)	0,159 (<0,0001)
Longitud axial	0,110 (<0,0001)	0,087 (0,009)	0,137 (0,0001)
Defecto refractivo esférico	-0,131 (<0,0001)	-0,089 (0,008)	-0,132 (<0,0001)
Edad	-0,061 (0,01)	-0,054 (0,108)	-0,069 (0,038)
PIO	-0,005 (0,834)	-0,020 (0,561)	0,010 (0,756)
Paquimetría	-0,007 (0,765)	-0,009 (0,789)	-0,007 (0,843)
Volumen C.A	0,097 (<0,0001)	0,063 (0,061)	0,134 (0,0001)
Diámetro pupilar Pentacam	0,001 (0,973)	0,036 (0,282)	-0,035 (0,295)
Blanco-blanco	0,034 (0,154)	0,021 (0,524)	0,049 (0,141)
Longitud M.T	0,769 (<0,0001)	0,769 (<0,0001)	0,781 (<0,0001)
Grosor M.T	0,721 (<0,0001)	0,730 (<0,0001)	0,715 (<0,0001)
Grosor del iris	0,047 (0,046)	0,026 (0,443)	0,071 (0,031)

Tabla 48: Resultados de la correlación del área de la M.T para el total de ojos (incluye ojos derechos e izquierdos), y estratificada sólo por ojos derechos y sólo por ojos izquierdos.

	AOD: Correlación			DIM: Correlación		
Parámetro	TOTAL	OD	OI	TOTAL	OD	OI
Edad	-0,462 (p<0,0001)	-0,450 (<0,0001)	-0,475 (<0,0001)	-0,477 (p<0,0001)	-0,470 (<0,0001)	-0,484 (<0,0001)
PIO	-0,071 (p<0,003)	-0,056 (0,095)	-0,088 (0,008)	-0,070 (p<0,003)	-0,064 (0,058)	-0,078 (0,020)
Prof. CA (Pentacam)	0,801 (p<0,0001)	0,808 (<0,0001)	0,794 (0,0001)	0,800 (p<0,0001)	0,804 (<0,0001)	0,796 (<0,0001)
Abertura angular temporal (Pentacam)	0,457 (p<0,0001)	0,445 (0,0001)	0,471 (<0,0001)	0,453 (p<0,0001)	0,435 (<0,0001)	0,476 (<0,0001)
Abertura angular nasal (Pentacam)	0,637 (p<0,0001)	0,646 (<0,0001)	0,626 (<0,0001)	0,640 (p<0,0001)	0,643 (<0,0001)	0,636 (<0,0001)
Paquimetría	-0,078 (p<0,001)	0,068 (<0,042)	-0,086 (0,01)	-0,078 (p<0,001)	-0,074 (0,027)	-0,081 (0,015)
Volumen CA	0,820 (p<0,0001)	0,822 (<0,0001)	0,820 (<0,0001)	0,820 (p<0,0001)	0,818 (<0,0001)	0,822 (<0,0001)
Diámetro pupilar (Pentacam)	0,209 (p<0,0001)	0,221 (<0,0001)	0,199 (<0,0001)	0,202 (p<0,001)	0,227 (<0,0001)	0,176 (<0,0001)
Prof. CA (IOL Master)	0,796 (p<0,0001)	0,799 (<0,0001)	0,792 (<0,0001)	0,799 (p<0,0001)	0,803 (<0,0001)	0,797 (<0,0001)
Blanco-Blanco	0,218 (p<0,0001)	0,206 (<0,0001)	0,232 (<0,0001)	0,214 (p<0,0001)	0,193 (<0,0001)	0,234 (<0,0001)
Longitud axial	0,647 (p<0,0001)	0,643 (<0,0001)	0,651 (<0,0001)	0,646 (p<0,0001)	0,639 (<0,0001)	0,653 (<0,0001)
Diámetro pupilar (IOL Master)	0,166 (p<0,0001)	0,171 (<0,0001)	0,162 (<0,0001)	0,154 (p<0,0001)	0,164 (<0,0001)	0,144 (<0,0001)
Defecto refractivo esférico	-0,625 (p<0,0001)	-0,621 (<0,0001)	-0,629 (<0,0001)	-0,633 (p<0,0001)	-0,626 (0,0001)	-0,641 (<0,0001)
Equivalente esférico	-0,660 (p<0,0001)	-0,631 (<0,0001)	0,621 (<0,0001)	-0,657 (p<0,0001)	-0,646 (<0,0001)	0,639 (<0,0001)
Longitud M.T	0,013 (p=0,571)	-0,031 (0,355)	0,064 (0,051)	0,188 (p<0,0001)	0,165 (<0,0001)	0,216 (<0,0001)
Grosor M.T	0,033 (p=0,154)	0,031 (0,350)	0,034 (0,307)	0,112 (p<0,0001)	0,119 (<0,0001)	0,104 (0,002)
Área M.T	0,008 (p=0,729)	-0,017 (0,617)	0,037 (0,262)	0,148 (p<0,0001)	0,138 (<0,0001)	0,162 (<0,0001)
Abertura angular (OCT)	0,929 (p<0,0001)	0,932 (<0,0001)	0,926 (<0,0001)	0,905 (<0,0001)	0,905 (<0,0001)	0,904 (<0,0001)
AOD	1	1	1	0,946 (p<0,0001)	0,944 (<0,0001)	0,949 (<0,0001)
TISA	0,969 (p<0,0001)	0,969 (p<0,0001)	0,969 (p<0,0001)	0,930 (p<0,0001)	0,923 (<0,0001)	0,938 (<0,0001)
DIM	0,946 (p<0,0001)	0,944 (<0,0001)	0,949 (<0,0001)	1	1	1
Área pretrabecular	0,858 (p<0,0001)	0,841 (<0,0001)	0,870 (<0,0001)	0,939 (p<0,0001)	0,934 (<0,0001)	0,943 (<0,0001)

Grosor del iris	0,190 (p<0,0001)	0,197 (<0,0001)	0,162 (<0,0001)	0,185 (p<0,0001)	0,177 (<0,0001)	0,193 (<0,0001)
-----------------	---------------------	--------------------	--------------------	---------------------	--------------------	--------------------

Tabla 49: Resultados de la correlación del AOD y el DIM para el total de ojos (incluye ojos derechos e izquierdos), y estratificada sólo por ojos derechos y sólo por ojos izquierdos.

Parámetro	TISA: Correlación			ÁREA PRETRABECULAR: Correlación		
	TOTAL	OD	OI	TOTAL	OD	OI
Edad	-0,430 (p<0,0001)	-0,419 (<0,0001)	-0,442 (<0,0001)	-0,428 (p<0,0001)	-0,419 (<0,0001)	-0,436 (<0,0001)
PIO	-0,078 (p<0,001)	-0,062 (0,064)	-0,093 (0,005)	-0,076 (p<0,0001)	-0,082 (0,014)	-0,070 (0,035)
Prof. CA (Pentacam)	0,758 (p<0,0001)	0,761 (<0,0001)	0,755 (<0,0001)	0,717 (p<0,0001)	0,711 (<0,0001)	0,722 (<0,0001)
Abertura angular temporal (Pentacam)	0,416 (p<0,0001)	0,404 (<0,0001)	0,430 (<0,0001)	0,381 (p<0,0001)	0,363 (<0,0001)	0,404 (<0,0001)
Abertura angular nasal (Pentacam)	0,587 (p<0,0001)	0,592 (<0,0001)	0,582 (<0,0001)	0,555 (p<0,0001)	0,554 (<0,0001)	0,555 (<0,0001)
Paquimetría	-0,070 (p=0,003)	-0,062 (0,066)	-0,076 (<0,023)	-0,068 (p=0,004)	-0,066 (0,050)	-0,068 (0,040)
Volumen CA	0,775 (p<0,0001)	0,773 (<0,0001)	0,778 (<0,0001)	0,730 (p<0,0001)	0,720 (<0,0001)	0,741 (<0,0001)
Diámetro pupilar (Pentacam)	0,177 (p<0,0001)	0,193 (<0,0001)	0,163 (<0,0001)	0,175 (p<0,0001)	0,194 (<0,0001)	0,154 (<0,0001)
Prof. CA (IOL Master)	0,750 (p<0,0001)	0,747 (0,0001)	0,753 (<0,0001)	0,713 (p<0,0001)	0,706 (<0,0001)	0,722 (<0,0001)
Blanco-Blanco	0,206 (p<0,0001)	0,192 (<0,0001)	0,221 (<0,0001)	0,189 (p<0,0001)	0,167 (<0,0001)	0,212 (0,0001)
Longitud axial	0,624 (p<0,0001)	0,615 (<0,0001)	0,633 (<0,0001)	0,588 (p<0,0001)	0,575 (<0,0001)	0,602 (<0,0001)
Diámetro pupilar (IOL Master)	0,144 (p<0,0001)	0,146 (<0,0001)	0,142 (<0,0001)	0,126 (p<0,0001)	0,139 (<0,0001)	0,112 (<0,0001)
Defecto refractivo esférico	-0,603 (p<0,0001)	-0,597 (<0,0001)	-0,610 (<0,0001)	-0,582 (p<0,0001)	-0,569 (<0,0001)	-0,596 (<0,0001)
Equivalente esférico	-0,635 (p<0,0001)	-0,041 (0,220)	-0,609 (<0,0001)	-0,571 (p<0,0001)	-0,590 (<0,0001)	-0,601 (<0,0001)
Longitud M.T	-0,001 (p=0,962)	-0,041 (0,220)	0,045 (<0,175)	0,348 (p<0,0001)	0,339 (<0,0001)	0,360 (<0,0001)
Grosor M.T	0,029 (p=0,215)	0,027 (0,412)	0,026 (0,432)	0,166 (p<0,0001)	0,168 (<0,0001)	0,164 (<0,0001)

Área M.T	-0,003 (p=0,885)	-0,025 (0,447)	0,021 (0,533)	0,267 (p<0,0001)	0,263 (<0,0001)	0,275 (<0,0001)
Abertura angular (OCT)	0,873 (p<0,0001)	0,868 (<0,0001)	0,880 (<0,0001)	0,789 (p<0,0001)	0,778 (<0,0001)	0,801 (<0,0001)
AOD	0,969 (p<0,0001)	0,969 (p<0,0001)	0,969 (p<0,0001)	0,858 (p<0,0001)	0,841 (<0,0001)	0,870 (<0,0001)
TISA	1	1	1	0,884 (p<0,0001)	0,872 (<0,0001)	0,897 (<0,0001)
DIM	0,930 (p<0,0001)	0,923 (<0,0001)	0,938 (<0,0001)	0,939 (p<0,0001)	0,934 (<0,0001)	0,943 (<0,0001)
Área pretrabecular	0,884 (p<0,0001)	0,872 (<0,0001)	0,897 (<0,0001)	1	1	1
Grosor del iris	0,214 (p<0,0001)	0,219 (<0,0001)	0,209 (<0,0001)	0,210 (p<0,0001)	0,196 (<0,0001)	0,224 (<0,0001)

Tabla 50: Resultados de la correlación del TISA y del área pretrabecular para el total de ojos (incluye ojos derechos e izquierdos), y estratificada sólo por ojos derechos y sólo por ojos izquierdos.

Parámetro	CORRELACIÓN TOTAL OJOS	CORRELACIÓN OD	CORRELACIÓN OI
Defecto refractivo esférico y longitud axial	-0,797 (<0,0001)	-0,797 (<0,0001)	-0,798 (<0,0001)
Defecto refractivo esférico y profundidad C.A. (Pentacam®)	-0,613 (<0,0001)	-0,611 (<0,0001)	-0,616 (<0,0001)
Profundidad C.A. (Pentacam®) y longitud axial	0,616 (<0,0001)	0,607 (<0,0001)	0,626 (<0,0001)
Profundidad C.A. (Pentacam®) y edad	-0,528 (<0,0001)	-0,527 (<0,0001)	-0,529 (<0,0001)
Volumen C.A y edad	-0,576 (<0,0001)	-0,579 (<0,0001)	<0,572 (<0,0001)
Profundidad C.A. (Pentacam®) y PIO	-0,033 (0,15)	-0,017 (0,597)	-0,048 (0,135)
Volumen C.A y PIO	-0,044 (0,05)	-0,036 (0,236)	-0,049 (0,128)
Profundidad C.A. (Pentacam®) y paquimetría	-0,021 (0,352)	-0,016 (0,623)	-0,027 (0,403)
Volumen C.A y paquimetría	-0,091 (<0,0001)	-0,087 (0,006)	-0,096 (0,003)

Tabla 51: Resultados de otras correlaciones relevantes estudiadas en este trabajo. Se muestra la correlación con el total de ojos, la correlación sólo con los OD y sólo con los OI.

ANEXO 2: CONSENTIMIENTO INFORMADO



CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del estudio: MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DEL ÁNGULO CAMERULAR Y DE LA MALLA TRABECULAR. ESTUDIO MEDIANTE TOMOGRAFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA DE SEGMENTO ANTERIOR FOURIER DOMAIN.

Yo (nombre y apellidos):

He podido hacer preguntas sobre el estudio y he recibido suficiente información sobre el mismo.

He hablado con el Dr. José Fernández-Vigo Escribano (investigador).

Comprendo que mi participación es voluntaria. Comprendo que puedo retirarme del estudio cuando quiera sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en mi atención médica.

Presto libremente mi conformidad para participar en éste estudio.

Firma del participante:

Fecha:

Firma del investigador:

Fecha: